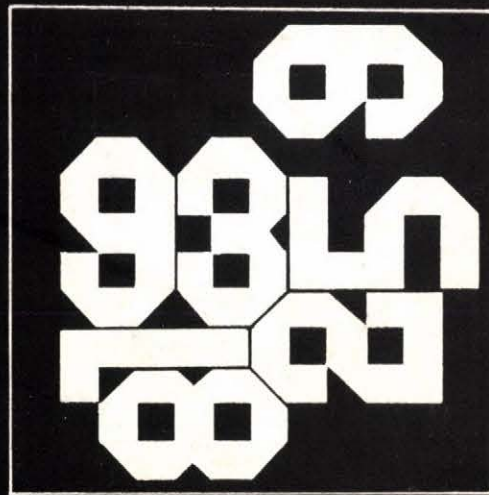


MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADEMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

BONYOLÚLT SZAKÉRTŐ RENDSZEREK TUDÁSBÁZISÁNAK
LOGIKAI MODELLEZÉSE

SOMOGYI PÉTER

Tanulmányok 215/1988



A kiadásért felelős:

DR. KEVICZKY LÁSZLÓ

Jelen tanulmány a szerző doktori disszertációja

ISBN 963 311 257 5

ISSN 0324-2951

Tartalomjegyzék

Bevezető	5
1. Az orvosi döntés modellezése	11
2. Orvosi szakértő rendszerek	18
3. A MYCIN tudásábrázolása	29
4. Eklektikus tudásábrázolás egy fejlődésneurológiai szak- értő rendszerben	37
4.1. A szakterület problémái	38
4.2. Tudásmérnöki tapasztalatok	42
4.2.1. Ismerkedés	43
4.2.2. A munka kezdete	44
4.2.3. Rendszerelemzés	44
4.2.4. Ember-gép kapcsolat	47
4.3. A NES szerkezete	47
4.4. A NES tudásbázisa	52
4.4.1. Szekciók	54
4.4.2. Rész-szekciók	55
4.4.3. Vizsgálatok	57
4.4.3.1. Kódok	57

4.4.3.2. Attribútumok	61
4.4.3.3. Korfüggőség	62
4.4.4. Bejárási utak	64
4.4.5. Minták	66
4.4.5.1. A minták szerkezete	67
4.4.6. Teljesítmény-struktúrák	74
4.4.7. Szabályok	75
4.5. Mintaillesztés	77
4.6. Tapasztalatok és következtetések	82
Irodalom	85

Bevezető

Dolgozatom a mesterséges intelligencia kutatások egy viszonylag szűk területét, az orvosi szakértő rendszerek készítésének elméleti és gyakorlati problémáit igyekszik összefoglalni egyrészt az adott szakterület kutatási irányzatainak áttekintésével, másrészt az orvosi tudás egy lehetséges leképezésének bemutatásával.

A számítástechnika egyébként is rohamosan fejlődő tudományában az utóbbi mintegy másfél évtizedben kiemelkedő népszerűsége tettek szert az emberi gondolkozás számítógépes szimulálásának lehetőségeivel foglalkozó kutatások. Ezeket a kutatásokat összefoglalóan mesterséges intelligencia (nemzetközileg elterjedt angol terminológiával artificial intelligence: AI) kutatásoknak nevezzük. Az AI kutatások főbb irányzatai a következők:

- A gondolkozás elemeinek (emlékezés, következtetés, megértés, tanulás, tudás stb.) vizsgálata, gondolkozási-tanulási modellek készítése, a számítógépes tudásábrázolás általános elméleti problémáinak kutatása. Ez az irányzat közvetlenül támaszkodik a kognitív pszichológia eredményeire és erőteljesen hat a modern filozófia ismeretelméleti kutatásaira.
- A természetes nyelven folytatott kommunikáció az ember és a számítógép között; az írott vagy beszélt nyelven közölt információ szá-

mitógépes értelmezése és feldolgozása; a gépi eredmények megjelenítése természetes (írott vagy beszélt) nyelvi formában. A természetes nyelvi kapcsolódás kutatásának elengedhetetlen feltétele a nyelvészet eredményeinek ismerete és aktív felhasználása.

- Képi információk számítógépes feldolgozása. Ennek az irányzatnak az eredményeit többek között az ipari robottechnika és automatizálás, valamint a különböző diagnosztikai és egyéb "on-line" rendszerek használják fel.
- Automatikus programozás, vagyis a számítógépek programnyelvi kötöttségektől mentes, funkcionális, problémaorientált programozásának megteremtése. A programszifikáció megadásának módjától függően az irányzat felhasználja a természetes és metanyelvi, valamint a tanuló rendszerekkel kapcsolatos kutatások eredményeit.
- Alkalmazás-orientált szakértő rendszerek. Ezek a számítógépes rendszerek egy-egy szakma (pl. orvosi, mérnöki stb.) többé-kevésbé szűk területének ismereteit, következtetési módszereit igyekeznek hatékonyan ábrázolni. A szakértő rendszerek kifejezett célja az adott területen dolgozó, általában nem számítástechnikai szakemberek mindennapi munkájának támogatása. Ennek megfelelően a szakértő rendszereknek hatékonynak, gyorsnak és könnyen kezelhetőnek kell lenniük. Mindezen követelményeknek annál is inkább meg kell felelniük, mivel a szakértő rendszerek nagy része kereskedelmi forga-

lomban kapható termék, tehát a felhasználó megnyerésén túl még a konkurens rendszerekkel is versenyezni kell.

A szakértő rendszerekben ábrázolt szakmai tudás "mélysége" a szakterület ismereteinek jellegétől, az alkalmazott tudásreprezentációs technikától, a rendszer szolgáltatásaitól és árától függően nagyon széles spektrumot ölel át.

- Az AI kutatásokat és ezen belül is elsősorban a szakértő rendszerek készítését támogató segédeszközök: programnyelvek (PROLOG, LISP, OPS5 stb.), általános keretrendszerek ("expert system shell"), valamint hardware eszközökkel is támogatott AI munkahelyek ("AI work station") fejlesztése.

A szakértő rendszerek fejlesztésével foglalkozó szakemberek gyakran választják az orvostudomány valamely jól körülhatárolható részterületét kutatási eredményeik kipróbálására, igazolására. Ennek kettős oka is lehet. Egyrészt a társadalom számára nyilvánvalóan hasznos, ha az orvosi ellátás során megbízható és alapos diagnózisok készülnek. Kimutatták [1], hogy a legtöbb orvosi hiba abból származik, hogy a vizsgálatot végző orvos a betegség megállapítása során képtelen minden lehetőséget mérlegelni. Feltéve, hogy a beteg megfelelő és szükséges adatai rendelkezésre állnak, készíthető olyan számítógép-program, amely az adott orvosi területen diagnosztizálható összes lehetséges betegséget figyelembe képes venni. Ezen túl vannak olyan feladatok, amelyeket a számítógép sokkal gyorsabban és pontosabban tud megoldani, mint az

orvos. Ilyen feladat lehet a gyógyszeradagok kiszámítása, különösen akkor, ha a dózis kritikus mennyiség és a kiszámításnál sok tényezővel kell számolni.

Az orvosi terület iránt megnyilvánuló érdeklődés másik oka a számítástudományi kihívásban kereshető. Az orvosi diagnózis készítése gazdag és különleges terület a kognitív folyamatok vizsgálata számára. Az orvosi gondolkodás, a következtetési módszerek első megközelítésre alapvetően logikai természetűnek tűnnek. Ez az alapvetően logikai jelleg azzal kecsegtet, hogy az orvosi tudás a matematikai logika nyelvén könnyen leírható. Ugyanakkor az igényesebb elemző nagyon hamar olyan, a kutatói ambíciókat serkentő, izgalmas problémákkal találja magát szemben, mint a hiányos és bizonytalan információkon alapuló következtetés (diagnózis), magának a következtetésnek (az orvosi logikának) a bizonytalansága és a logikai módszereknél gyakran hatékonyabb intuitív gondolkodás. Az orvostudomány igen fejlett taxonómiával, viszonylag jól szervezett és jól körülhatárolható tudásbázissal (illetve többé-kevésbé diszkrét tudásbázisokkal) rendelkezik. Mivel jól elkülöníthetők azok a szakemberek, akiknek felkészültsége, szakmai hozzáértése jóval az átlag fölé emelkedik, a szaktudás jól azonosítható és viszonylag könnyebben hozzá lehet férni. Ezen túlmenően az orvosi diagnózis készítése esetén a megoldandó feladat ismétlődő jellegű, tehát ebből a szempontból is indokolt "gépesíteni". Mindezek a sajátságok a szakmai tudás megszerzésének ("knowledge acquisition") és leképzésé-

nek, a tudásmérnöki tevékenységnek ("knowledge engineering") néhány szempontját tükrözik.

Itt kell megemlíteni egy sajátos problémát, amely a szakértő rendszerek készítőinek és felhasználóinak egymást nem teljesen fedő indíttatásából, céljaiból fakad:

- A felhasználó elsősorban olyan segédeszközt vár, amely mindennapi munkájában, kutatásaiban hatékonyan tudja támogatni. Ebben az esetben az AI technikát olyan feladatok megoldására alkalmazzák, amelyeket a hagyományos technikák nem tudnak automatizálni.

- A tudásmérnök a szakértő rendszer készítése során oly módon kíván ismereteket szerezni az intelligens problémamegoldó stratégiákról és architektúrákról, hogy programokkal próbálja reprodukálni azokat.

A kétfajta megközelítés nem zárja ki egymást, de a bennük megtestesülő érdekek alapvetően különböznek. A felhasználó érdekeit kielégíti egy bármilyen, akár normatív tudásábrázolási technikát alkalmazó rendszer is, ha az adott szakterület problémáit megfelelő hatékonysággal oldja meg. A tudásmérnök számára a normatív megoldás keresése értelmetlen, hiszen a bizonytalanság csökkentésére irányuló szellemi tevékenység sokféleképpen reagál a különféle bizonytalanságok kihívásaira. Ugyanakkor elméletileg nem igazolható, hogy az adott szakterület feladatait éppen a hagyományos gondolkodás leképezésével lehet leghatékonyabban megoldani. Valószínű, hogy ezt az ellentmondást a hagyományos szakmai gondolkodás és az újfajta számítógépes módszerek (numerikus iteratív eljárások, sztochasztikus szimuláció stb.) szintézise fogja feloldani.

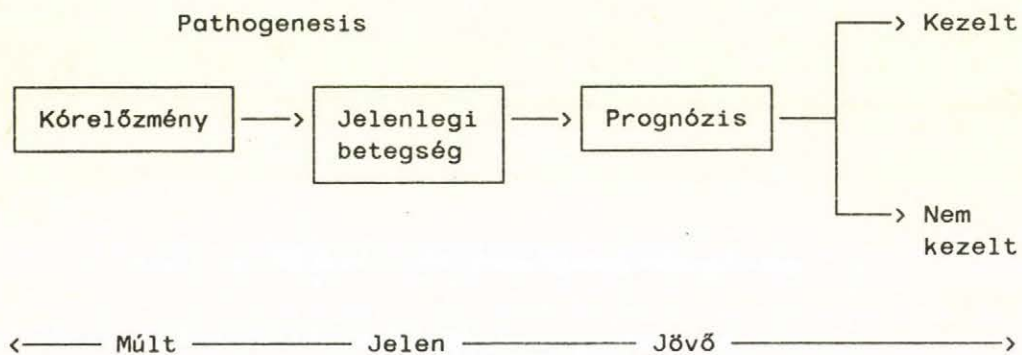


Dolgozatom négy részre tagolódik. Az első részben az orvosi döntések (diagnózis, terápia) folyamatának modelljét ismertetem. A második rész a jelenleg működő orvosi szakértő rendszerek főbb irányzatait mutatja be. A következő fejezet a mindmáig legsikeresebb és legnagyobb hatású orvosi szakértő rendszer, a MYCIN tudásábrázolási technikáját foglalja össze. Az utolsó rész egy hazai fejlődésneurológiai szakértő rendszer készítése során felhalmozódott tapasztalatokat összegzi, továbbá ismerteti az orvosi tudás leképezésének a rendszerben alkalmazott újszerű technikáját.

1. Az orvosi döntés modellezése

Az orvosi döntési folyamatnak három alapvető fázisát különböztethetjük meg. Ezek a következők: adatgyűjtés, diagnóziskészítés és a terápia kialakítása. Az adatgyűjtés a beteg kórelőzményeinek, klinikai és laboratóriumi adatainak megismerését jelenti. A klinikai adatok egyrészt szimptómák, amelyek a beteg által közölt szubjektív érzetek (mint például fejfájás vagy mellkasi fájdalom), másrészt az orvos által megfigyelhető objektív tünetek. A laboratóriumi eredmények a leletek. A diagnóziskészítés az a folyamat, amelyben az orvos az adatgyűjtés során szerzett információk alapján meghatározza a betegséget. Az orvosi döntés három fázisa nem független egymástól. Az adatgyűjtés során felmerülő hipotézisek befolyásolhatják a további vizsgálatok irányát. Hasonlóan, a terápiás javaslatok a diagnózison alapulnak, ugyanakkor további információkat igényelhetnek (például a beteg gyógyszerérzékenysége, általános fizikai kondíciójára stb. vonatkozóan). Annak eldöntése, hogy egy vizsgálatot el kell-e végezni vagy sem, gyakran a vizsgálat költségének, a beteg kockázatának és a nyerhető információ hasznosságának becslésétől, illetve a lehetséges veszteség és a nyerhető haszon egybevetésétől függ. Az információk összegyűjtése, a betegség

megállapítása és a gyógykezeléshez szükséges terápia kialakítása együttesen alkotja a konzultációt. Az 1. ábra a betegség kialakulásával összevetve mutatja be ezt a folyamatot [2].



1. ábra

A kórelőzmény a betegség eredeti okait foglalja magába. A pathogenesis a betegség kifejlődését írja le. Ideális esetben a diagnózis a kórelőzmények meghatározását is tartalmazza. A gyógykezelés ezek után magát a betegséget és ennek okait is kifejezi. Gyakran az orvosi tudás hiányossága miatt nem lehet meghatározni a betegség okait. Ezekben az esetekben a kezelésnek azokból a tapasztalatokból kell kiindulnia, amelyek arra vonatkoznak, hogy a betegség miképpen reagál a különböző terápiákra.

Az orvosi konzultációnak vannak olyan fázisai, amelyeket a számítógép nem képes elvégezni. Ilyen például a fizikai vizsgálat. Az orvos sok információt gyűjt az általános külső jelekből, arckifejezésekből stb., amely információk a számítógép számára elsődleges formájukban elérhetetlenek. Természetesen a számítógép nem tud elbeszélgetni a beteggel, hogy közvetlen információkat nyerjen, nem tudja elmagyarázni, vagy irányítani a kezelést. Mindezeket a számítógépes orvosi szakértő rendszerek tervezésénél figyelembe kell venni, és olyan mechanizmusokat kell biztosítani, amelyek által ezek az információk - ha áttételesen is, de - elérhetővé válnak.

Az orvosi gondolkodást a tünetek felismerésétől a terápia kialakításáig végigkíséri a bizonytalanság:

- A medicinában is alkalmazzák azt az elvet, hogy "minden mérhetőt mérni kell, és mindent mérhetővé kell tenni, ami addig nem volt mérhető" (Galilei). Ugyanakkor nem minden tünetet lehet egzakt módon meghatározni (pl. mérni). A kvalitatív jellemzők bármiféle leképezése (kvantifikálása) amellett, hogy jelentős torzulásokhoz vezethet, nem csökkenti a szubjektivitás és a tévedés veszélyét. Sok esetben problémát okoz az elemi tünetek elkülönítése, hiszen a

szimptómák együttes jelentkezésük és kölcsönhatásuk folytán módosulhatnak, torzulhatnak.

- Csupán a tünetek alapján nem lehet determinisztikus következtetésekre jutni. A felismert tünetek többé-kevésbé eltérnek a pathofiziológiás jellemzők meghatározásához szükséges tipikus tünetektől.
- Bizonytalan az is, hogy mely tünetek és milyen mértékben járulhatnak hozzá egy adott betegség megállapításához, illetve milyen információk és milyen mértékben tehetik kérdésessé azt.
- A terápia megállapítása kettős bizonytalanságot is hordoz. Egyrészt egy tipizált betegséghez a megválasztott orvosi stratégiának megfelelően több terápia is kialakítható, másrészt a terápiák hatásossága is esetről esetre változhat.

Az orvosi döntési sor egyes fázisaihoz tartozó bizonytalanságok mértéke szakterületenként változhat. Ennek megfelelően az orvosi szakértő rendszerek a következtetés bizonytalanságának más-más aspektusait próbálják elsődlegesen megragadni.

Az orvosi szakértő rendszerek többsége valószínűségszámítási módszerek alkalmazásával próbálja megragadni az ismeretek bizonytalanságát. A valószínűségi megközelítés logikai modellje [3] a következő:

Legyen a Q a világmodell egy változója, amelynek lehetséges, egymást kizáró értékei q_1, q_2, \dots, q_n . Ha a tudásunk nem teljes az adott világra vonatkozóan, de valamilyen bizonyossággal állíthatjuk, hogy Q milyen q_i ($i=1..n$) értékeket vehet fel, akkor olyan p_1, p_2, \dots, p_n számokat rendelünk a q_i ($i=1..n$) értékekhez, amelyek tükrözik a bizonyosság mértékét. Tegyük fel, hogy a világ tökéletesen leírható m számú változóval. Ha ismereteink hiányosak, akkor minden egyes változóhoz egy valószínűségeloszlást kell rendelnünk. Ezzel a hozzárendeléssel egyrészt behatároljuk a lehetséges világokat, másrészt egy hierarchiát hozunk létre a legvalószínűbb és a legkevésbé valószínű világ között. Az m számú valószínűségeloszlást tartalmazó szintaktikai egység egyértelműen meghatározza a világmodell bizonytalanságát. Ugyanakkor az egyes változókhoz rendelt valószínűségeloszlások nem határozhatók meg egyértelműen. Ez a hozzárendelési bizonytalanság (a modell és a valószínűség kapcsolatának bizonytalansága) a valószínűségeloszlásokhoz rendelt másodrendű valószínűségekkel reprezentálható. A jelenlegi szakértő rendszerek a bizonytalanság kezelésének ezt a szintjét általában még nem érik el.

Az általánosan elterjedt valószínűségi megközelítés másik problémája az, hogy a valószínűségek és az azokból származtatott mutatók elfedik és összemoszák a reprezentált bizonytalanság forrásait (és emiatt természetét), bár ezek a források (az adatok bizonytalansága, hiányos ismeretek stb.) általában ismertek. A jelenlegi AI kutatásokban a tudásábrázolást a tények, algoritmusok és egyéb ismeretek explicit kifejezése jellemzi. Ugyanakkor a bizonytalanságra vonatkozó ismeretet egyetlen szám jelzi dacára a sokféle forrásnak, amelyből a bizonytalanság keletkezhet.

A pragmatikus megfontolásokon túl a valószínűségyszámítási módszerek kizárólagos alkalmazása elméleti alapon is támadható [4]. Eszerint a valószínűségyszámítás normatív módszer a bizonytalanság egyik aspektusának, az objektív valószínűségeknek a kiszámítására. Tehát a valószínűségyszámítás, amely a relatív gyakoriságokon keresztül kapcsolódik a valósághoz, az objektív világ elmélete és nem a tudaté. A gondolkodás bizonytalanságának ugyanis kevés köze van a relatív gyakoriságok objektivitásához. A bizonytalanság mértékének meghatározását célzó különböző vitatott és egymással vitatkozó módszerek (Dempster - Shafer, certainty factor, fuzzy) jól alkalmazhatók bizonyos részproblémák megoldására, de általában nem helyettesíthetik a szakterület heurisztikájának és a lehetséges stratégiáknak feladat-specifikus kvalitatív leképezését. Ilyen leképezési módszer lehet például az INTERNIST-ben (lásd

később) alkalmazott osztályozási problémamegoldás (classification problem solving).

Minden alkalmazói programrendszer fejlesztésénél alapvető követelmény a felhasználó megnyerése, a program elfogadtatása. A szakértő rendszerek esetén az elfogadtatáshoz nem elég a könnyű kezelhetőség és a szolgáltatások széles köre. A tanácsadó rendszerek nem működhetnek fekete dobozként. A felhasználónak ismernie kell azt, hogy a szakértő rendszer milyen információk alapján, milyen következtetési módszert alkalmazva jutott el az adott eredményig (HOW) és hogy a konzultáció adott pontján milyen aktuális cél vezérli (WHY). Az orvos csak mindezek ismeretében veheti figyelembe a rendszer tanácsát, annál is inkább mert a döntés felelőssége továbbra is az övé.

Az orvosi szakértő rendszerekhez kapcsolódó kutatások erővonalai egyrészt a bizonytalan orvosi heurisztika különböző (sztochasztikus, fuzzy, osztályozási, logikai stb.) módszerekkel történő leképezési lehetőségei, másrészt a következtetési módszerek elkülönítése és megjelenítése mentén húzódnak. A következő fejezetben néhány olyan alkalmazást mutatok be, amelyek sikeresen és nemegyszer eredeti módon oldják meg az előzőekben vázolt problémákat.

2. Orvosi szakértő rendszerek

A CASNET (Casual ASSociational NETwork) a glaukoma különböző fajtáinak felismerését és gyógykezelését támogató szakértő rendszer [5-6]. A rendszer az orvosi tudást három szinten ábrázolja:

- betegségkategóriák szintje
- pathofiziológiás állapotok szintje
- megfigyelések (szimptómák, leletek, tünetek) szintje.

Az elemi megfigyelések és a pathofiziológiás állapotok között asszociatív kapcsolatok vannak. Egy megfigyelés és egy állapot kapcsolatát reprezentáló élhez rendelt 1 és 5 közé eső érték (CF: confidence factor) a kapcsolat megbízhatóságának mértékét jelöli. A pathofiziológiás állapotok között oksági kapcsolat van. Az állapotok oksági láncokat, a láncok pedig oksági hálót alkotnak. Az oksági kapcsolatok erősségét ebben az esetben is a háló éleihez rendelt 1 és 5 közé eső megbízhatósági érték jelöli. Egy pathofiziológiás állapotot jellemző státust a beteghez tartozó megfigyelések, a megfigyeléseket az állapotokkal összekötő asszociatív CF értékek, a környező állapotok (oksági háló csomópontok) státusa és az állapotba befutó élekhez tartozó CF értékek

együttesen határozzák meg. Az állapot fennállását elismeri a rendszer, ha a státus nagyobb egy előre meghatározott küszöbértéknél, viszont elutasítja, ha kisebb egy másik küszöbértéknél. Ha a státus a két küszöbérték közé esik, az állapot meghatározhatatlan. A pathofiziológiás állapotok és a betegségkategóriák közötti kapcsolatot a betegségkategóriákhoz rendelt osztályozási táblák teremtik meg. A diagnózis iteratív módon az osztályozási táblákban felsorolt állapotok státusának meghatározásával készül. A CASNET a kiértékelési folyamat végén azt a betegséget állapítja meg, amely osztályozási táblájában a legtöbb elfogadott állapot található. Az osztályozási táblák nemcsak a betegség megállapításához szükséges állapotokat, hanem a javasolt terápiákat is tartalmazzák. A terápiákhoz szintén tartozik egy számított státus érték, amely annak a valószínűségét fejezi ki, hogy az adott beavatkozás sikeres lesz. A CASNET a betegség megállapítása után a legnagyobb státusú terápiát javasolja. Összegezve a CASNET kísérletet tesz a következtetés és a terápia bizonytalanságának kezelésére, de nem foglalkozik a megfigyelések és a kategorizálás (a betegséghez tartozó feltételek meghatározásának) bizonytalanságával.

Az INTERNIST-I./CADUCEUS (továbbiakban INTERNIST) belgyógyászati konzultációs rendszer [7-8]. A CAUDEUS az INTERNIST-I. továbbfejlesztett változata. A program a betegség megnyilvánulásai (tünetek, szimptómák,

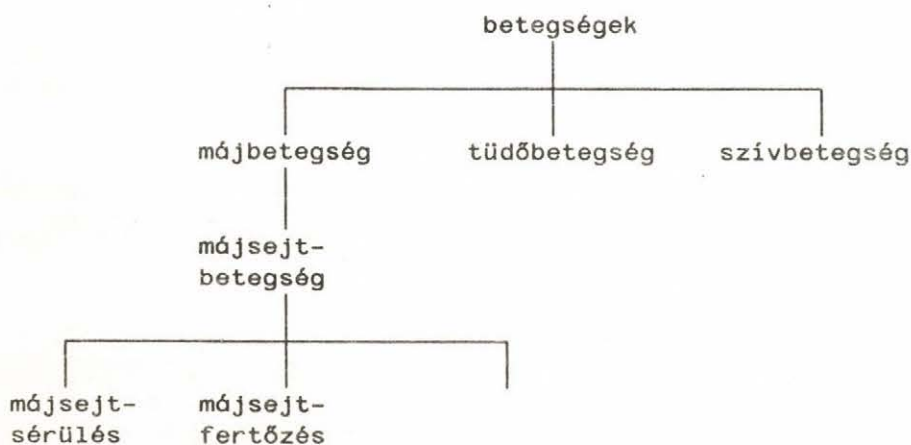
laboratóriumi leletek, kórelőzmények) alapján készít diagnózist. A diagnózis mindazokat a betegségeket tartalmazza, amelyek az észlelt megnyilvánulásokat okozhatják. A konzultáció során nyert információk alapján a rendszer hipotéziseket állít fel a lehetséges betegségekre vonatkozóan, majd rangsorolja a versenyző hipotéziseket. Az INTERNIST fő célja az orvosi következtetés és diagnóziskészítés modellezése. Ennek megfelelően a program csak diagnózist készít, terápiát nem javasol.

Számítástudományi szempontból az INTERNIST olyan hipotézisfelállítási és -igazolási problémát old meg, ahol a hipotéziseket megalapozó adatok a betegségek megnyilvánulásai, a hipotézisek pedig maguk a lehetséges betegségek. Az INTERNIST jelenleg az egyik legnagyobb orvosi szakértő rendszer, mivel tudásbázisa több, mint 500 betegséget ír le több, mint 3500 megnyilvánulás segítségével.

A belgyógyászatban a diagnóziskészítés azért is bonyolult feladat, mert a beteg egyidőben többféle betegségben is szenvedhet, tehát az esetek többségében a diagnózis betegségek halmazának megállapítását jelenti. Az INTERNIST-I. szekvenciálisan határozza meg azokat a betegségeket, amelyek leginkább illeszkednek a beteg adataira. A CADUCEUS keresési algoritmusa annyival fejlettebb, hogy különböző le-

hetséges betegségcsoportokat párhuzamosan vizsgál. Ez utóbbi megközelítés a hatékonysági megfontolásokon túl az ambuláns orvos természetes következtetési módszeréhez is jobban illeszkedik.

Az INTERNIST tudásbázisa betegségfába (taxonómiába) szervezve tárolja a betegségek leírásait. A betegségfa élei "formája" ("form-of") relációk. Például a májsejtbetegség a májbetegség egyik formája (2. ábra).



2. ábra

A betegségek osztályozása a betegségfa felső szintjén szervek szerint történik - szívbetegség, tüdőbetegség stb. Az egyes csomópontokból kiinduló elágazások az adott betegség meghatározásának finomítását, je-

lentik. A köztes csomópontokból kiinduló részfák a betegségterületeket határozzák meg, míg a fa levelei (végpontjai) az elemi betegségentitások.

A betegségek és a megnyilvánulások kétféle relációban állnak egymással:

- Egy megnyilvánulás előidézhethet (EVOKE) egy betegséget (pl. kórelőzmény).
- Egy betegség megmutatkozhat (MANIFEST) bizonyos szimptomákban vagy tünetekben.

Ezek a relációk feltételes valószínűségeknek tekinthetők rendre $P(B|M)$ és $P(M|B)$, ahol M a megnyilvánulás és B a betegség. A relációk erőssége egy 0-tól 5-ig terjedő skálán adható meg. A 0 erősség azt jelenti, hogy a betegség és a megnyilvánulás között nem áll fenn az adott oksági reláció, míg az 5-ös érték a determinisztikus kapcsolatot reprezentálja.

Az INTERNIST tudásbázisa a betegségfa leveleihez (a betegségentitásokhoz) tartozó összes EVOKE és MANIFEST relációt tartalmazza a kapcsolódó megnyilvánulásokkal együtt. A megnyilvánulások a betegségfa legmagasabb szintjén tárolódnak. Ez azt jelenti, hogy egy betegségterület (részfá) gyökeréhez kapcsolódnak mindazok a megnyilvánulások, amelyek

az alsóbb elágazások mindegyikét jellemzik (közös megnyilvánulások), vagyis a betegségfán a csomópontokhoz rendelt megnyilvánulások öröklődnek. Ez a tulajdonság gyorsítja a diagnóziskészítést, hiszen a megnyilvánulások alapján a betegségfa megfelelő részfái (a betegségterületek) közvetlenül kiválaszthatók.

Az INTERNIST a konzultáció elején bevitt megnyilvánulások alapján kiválasztja a lehetséges betegségterületeket. A továbbiakban a még hiányzó megnyilvánulások valamint a hozzájuk tartozó EVOKE és MANIFEST relációk erőssége vezérli a konzultációs folyamatot.

Az INTERNIST sikeresen kombinálja az orvosi diagnóziskészítés bottom-up és top-down megközelítését. A beteg adatai alapján hipotézisek készülnek (bottom-up), amelyek igazolásához további megnyilvánulásokra van szükség (top-down). A rendszer tisztán asszociatív, vagyis nem modellezi a betegségek folyamatát, hanem statikus kategóriákként kezeli őket. Az INTERNIST modellben a diagnózis készítése egy vagy több kategóriának a meghatározását jelenti.

A PIP (Present Illness Program) a beteg elsődleges betegségét állapítja meg [9]. Ezt a rendszert először vesebetegségek megállapítására alkalmazták. Az elsődleges betegség megállapítása alapvetően különbözik

a teljes diagnózis felállításától, amennyiben - követve az általános orvos következtetési módszerét - a beteg fő panaszaiból indul ki és csak alacsony költségű információkon (kórelőzmény, fizikai vizsgálatok és rutinszerű laboratóriumi leletek) alapul. A teljes diagnózishoz esetleg szükséges költséges vagy kockázatos vizsgálatokat nem tartalmazza a program.

A PIP az orvosi tudást frame-ek hálózatában reprezentálja. A frame-ek betegségeket, klinikai és fiziológiai állapotokat írnak le. A frame-ekben található slot-ok a következő kategóriákba sorolhatók:

- Tipikus tünetek, amelyek az adott betegséget jellemzik. Egy betegnek a betegség megállapításához nem kell produkálnia az összes tipikus tünetet. A tipikus tünetek különleges csoportját alkotják a trigger tünetek, amelyek a diagnóziskészítés kulcselemei. A triggerek a betegséghez kapcsolódó olyan tünetek, amelyek jelenléte önmagában elegendő ahhoz, hogy a PIP az adott betegség frame-et aktív hipotézisként kezelje.
- A logikai döntési kritériumok olyan szabályok, amelyek néhány kulcs-tünet alapján lehetővé teszik egy hipotézis elfogadását vagy elvetését. A betegséget meghatározó tünetek az IS-SUFFICIENT, a jellemző tünetek a MUST-HAVE, míg a kizáró megnyilvánulások a MUST-NOT-HAVE slot-ban találhatóak.

- A frame-ek közötti relációk a betegségek közötti kapcsolatokat tükrözik. Néha a betegségek kialakulásának mechanizmusa felismerhető, és így megállapítható, hogy az adott betegség egy másiknak az oka (CAUSE-OF slot), okozata (CAUSED-BY slot) vagy komplikációja (COMPLICATION-OF slot). Ha az összefüggések kevésbé tisztázhatók, a betegségek egyszerűen kapcsolódnak egymáshoz (ASSOCIATED slot). Mindezek a slotok az egymást kiegészítő frame-eket csoportosítják.
- Az eltérő diagnózis slot egymást kölcsönösen kizáró rendellenességeket sorol fel. Ezzel annak lehetőségét jelzi a rendszer, hogy a beteg esetleg nem az adott frame által leírt, hanem más (az eltérő diagnózis slot-ban felsorolt) betegségben szenved.
- A SCORING slot azt írja le, hogy a frame által reprezentált betegség diagnosztizálásában az egyes tünetek milyen súllyal vesznek részt.

A PIP-ben alkalmazott klinikai következtetés a hipotézisek és tünetek megfeleltetésén alapul. A tünetekhez kapcsolódó ismereteket külön tárolja a rendszer, mivel egy tünetre több frame is hivatkozhat. A hipotézisek a frame-ek kiértékelésének eredményeként jönnek létre. A PIP háromféle hipotézist kezel:

- Elfogadott az a hipotézis, amelynek a SCORING slot alapján számított besorolása meghalad egy küszöbértéket.

- Aktív az a hipotézis, amelyben legalább egy trigger tünet található. Az aktív hipotézisekben felsorolt, de még ki nem töltött megnyilvánulások vezérlik a PIP adatbevitelét. Az adatbevitel és az ismétlődő kiértékelés során az aktív hipotézisek elfogadottá válnak, míg az addig elfogadott hipotézisek (például a MUST-NOT-HAVE slot-ba eső tünetek esetén) elveszthetik korábbi státusukat.
- Szemi-aktív hipotézisek azok a nem aktív hipotézisek, amelyek a frame rendszerben az aktív frame-ek közvetlen közelében helyezkednek el (kiegészítő frame-ek).

A PIP kategórikus és valószínűségi módszerek együttes alkalmazásával igyekszik az orvos klinikai következtetését szimulálni. Egy hipotézis alkalmazhatóságát először kategórikusan, a logikai döntési kritériumok (IS-SUFFICIENT, MUST-HAVE, MUST-NOT-HAVE szabályok) alapján próbálja eldönteni. Ha ez nem elegendő, kétféle valószínűségi kiértékelést alkalmaz a program. Egyrészt megvizsgálja, hogy a tünetek mennyire illeszkednek az egyes frame-ekre (matching score), másrészt, hogy a frame-ekben szereplő tünetek mennyire fedik le a betegre vonatkozó összes tünetet (binding score).

Az ONCOCIN rákos megbetegedések diagnosztizálását és gyógykezelését támogató konzultációs rendszer [10]. Az ONCOCIN újszerűsége a konzul-

tációs folyamat sajátos felfogásában található. A hagyományos szakértő rendszerek általános következtető mechanizmusukkal a begyűjtött adatok alapján a felhasználótól függetlenül jutnak valamilyen eredményre, és az így kapott megoldások megbízhatóságáról a következtetési lánc magyarázatával igyekeznek meggyőzni az alkalmazót. Ugyanakkor az orvosokat irritálja az, hogy a szakértő rendszer előírja nekik, hogy mikor milyen vizsgálatot végezzenek el és ezáltal a konzultációs folyamat passzív szereplőivé válnak.

Az ONCOCIN-ben alkalmazott kritikai modell lényege az alkalmazó orvos terápiás tervének analízise, elfogadása vagy kritikája. A kritikai modellben a kritika a rendszer és az orvos által javasolt terápia közötti szignifikáns eltérések magyarázata. A kritikai megközelítés könnyebben elfogadható az orvos számára, hiszen az esetek nagy többségében - amikor nincs szignifikáns eltérés a program és az orvos következtetése között - a rendszernek nem kell beavatkoznia a természetes döntési-tervezési folyamatba, vagyis az ONCOCIN nem vezérli, hanem felügyeli az orvos munkáját. A kritikai modellben a szakértő rendszerrel folytatott kommunikáció is célirányosabbá vált, mivel a felhasználói terv kritikájával a program az orvosi tudásnak csak azon részével foglalkozik, amelyet az adott orvos az adott pillanatban aktívan használ.

A kritikai megközelítés megkövetelte az adatkarbantartó és a tanácsadó szakértő program funkcionális elkülönítését. Az adatkarbantartó rendszer leválasztásával még vonzóbbá vált az ONCOCIN az orvosok számára, hiszen az új feladatok mellett sor kerülhetett régi feladatok (például a betegek adatlapjainak kitöltése) kiváltására.

A kritikai modell a korábbi orvosi konzultációs rendszerekben alkalmazott következtetésmagyarázó funkció továbbfejlesztéseként jött létre.

Előzmények:

- a MYCIN-hoz készített terápiaértékelő rendszer [11]
- Az ATTENDING a beavatkozás előtti aneszteziológiai tervek értékelésére egy döntési háló segítségével [12]. A háló csomópontjai aneszteziológiai eljárások és az azokhoz kapcsolódó rizikófaktorok. Az ATTENDING ezeket a rizikófaktorokat használja fel arra, hogy az orvos által javasolt eljárás előnyeit és kockázatait összevetse a különböző stratégiák hatásaival.

Az előzmények hiányosságain a magyarázatok mélységének és részletességének megválasztási lehetőségével lép túl az ONCOCIN.

3. A MYCIN tudásábrázolása

A MYCIN [13] elsősorban a vér és az agyhártya fertőző betegségeihez kapcsolódó diagnózisok megállapítását és a megfelelő terápiák kialakítását támogató konzultációs rendszer. A MYCIN project 1972-ben indult E. Shortliffe vezetésével. A rendszert az első változat megjelenése óta többször módosították, általánosították [14] és (esetenként más programnyelvet alkalmazva) rekonstruálták [15]. A nagyfokú és nem csökkenő tudományos érdeklődés is bizonyítja, hogy a MYCIN mindmáig az egyik legsikeresebb és az AI kutatásokat jelentősen befolyásoló szakértő rendszer.

A konzultációs folyamat során a MYCIN a szakterület számos entitására vonatkozóan gyűjt információkat. Ilyen entitás lehet maga a fertőző organizmus vagy a tenyészet, amiből izolálták stb. Ezeket az entitásokat a MYCIN terminológia "context"-nek nevezi. Az entitásokra vonatkozó információkat vagy a felhasználó szolgáltatja, vagy a rendszer következtet rájuk a már meglévő adatok alapján. A MYCIN számos előre definiált context típust használ. Ilyenek a PERSON, amelyik a beteg adatait tartalmazza, vagy a CURORGS, amely az éppen vizsgált organiz-

musra vonatkozik, vagy a POSSTHER, amely a lehetséges terápiát írja le. A context-ekhez rendelt attribútumok azok a klinikai paraméterek, amelyek aktuális értékei a diagnózis felállításához és a terápia kialakításához szükséges információkat hordozzák. A context-ek hierarchikus fába rendeződnek. Minden konzultáció során új context fa alakul ki, amelynek gyökere egy PERSON típusú context, míg a levelei a gyógykezelésre vonatkozó entitások. Ilyen módon a konzultáció nem más, mint a context fa bejárásával a klinikai paraméterek (context attribútumok) értékeinek megállapítása.

A MYCIN rendszerben az orvosi tudás elemeit produkciós szabályok hordozzák. A szabályok belső ábrázolásának és kezelésének nyelve a LISP, ugyanakkor egy preformált szókapcsolatokat tartalmazó szótár segítségével a MYCIN-ban tárolt szabályok természetes nyelvi formában is elérhetők. Minden szabály egy feltételt és egy vagy több következtetést tartalmaz. A következtetési szabályok általános formája:

HA feltétel AKKOR akció

A feltétel általában paraméterek kiértékelését tartalmazza, míg az akció (általában következtetések sorozata) legtöbbször további paramétereknek ad értéket. Egy feltétel mindig klózik konjunkciója, a klózik

viszont tetszőlegesen komplex konjunkciókat és diszjunkciókat tartalmazhatnak. A feltételen belüli diszjunkciókat ugyanazon akcióra vonatkozó önálló szabályok definiálásával fejezhetjük ki. A szabály következtetései csak akkor érvényesek, ha a szabály feltétel része teljesül.

A MYCIN az orvosi tudás és következtetés bizonytalanságát a következő három mutatóval fejezi ki:

- A növekvő bizonyosság mértéke (measure of increased belief: MB) azt fejezi ki, hogy egy h hipotézis helyességét mennyire erősíti egy e bizonyíték (lelet, szimptóma stb.) jelenléte.

$$MB[h,e] = \begin{cases} 1 & \text{ha } P(h) = 1 \\ \frac{\max[P(h|e), P(h)] - P(h)}{1 - P(h)} & \text{egyébként} \end{cases}$$

Látható, hogy ha h biztos hipotézis ($P(h) = 1$), vagy e bizonyíték teljesen igazolja ($P(h|e) = 1$), akkor $MB = 1$. Ha viszont e

bizonyíték független h hipotézistől ($P(h|e) = P(h)$) vagy csökkenti annak valószínűségét ($P(h|e) < P(h)$), akkor $MB = 0$. Továbbá nyilvánvaló, hogy egyébként $0 < MB[h,e] < 1$.

- A csökkenő bizonyosság mértéke (measure of increased disbelief: MD) azt fejezi ki, hogy egy h hipotézis helyességét mennyire gyengíti egy e bizonyíték (lelet, szimptóma stb.) jelenléte.

$$MD[h,e] = \begin{cases} 1 & \text{ha } P(h) = 0 \\ \frac{P(h) - \min[P(h|e), P(h)]}{P(h)} & \text{egyébként} \end{cases}$$

Látható, hogy ha h biztosan hibás hipotézis ($P(h) = 0$), vagy e bizonyíték teljesen kizárja ($P(h|e) = 0$), akkor $MD = 1$. Ha viszont e bizonyíték független h hipotézistől ($P(h|e) = P(h)$) vagy növeli annak valószínűségét ($P(h|e) > P(h)$), akkor $MD = 0$. Továbbá nyilvánvaló, hogy egyébként $0 < MD[h,e] < 1$.

- A bizonyossági tényező (certainty factor: CF) a két előző mutató különbsége, vagyis $CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e]$. Könnyen igazolható, hogy ha h biztos hipotézis, vagy e teljesen igazolja, akkor

$$CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e] = 1 - 0 = 1.$$

Hasonlóan ha h biztosan hibás hipotézis, vagy e teljesen cáfolja, akkor

$$CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e] = 0 - 1 = -1.$$

Ha h és e függetlenek, akkor

$$CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e] = 0 - 0 = 0.$$

Összegezve egyrészt $-1 \leq CF \leq 1$, másrészt ha a hipotézis a priori valószínűsége kicsi, akkor

$$CF[h,e] = MB[h,e] - MD[h,e] = \frac{P(h|e) - P(h)}{1 - P(h)} - 0 \sim P(h|e)$$

vagyis a CF bizonyos esetekben a feltételes valószínűséghez közel álló értéket vehet fel.

Általában a klinikai paraméterekre a szabályok kiértékelése során több lehetséges értéket határoz meg a rendszer. Egy adott paraméter lehetséges értékeihez rendelt CF érték annak a bizonyosságnak a szintjét fejezi ki, amellyel kijelenthetjük, hogy az adott paraméter az adott értéket veszi fel. Ha $CF = -1$, akkor határozottan állítjuk, hogy az adott paraméter nem veheti fel az adott értéket. $CF = +1$ esetén a paraméter és a hozzárendelt érték által leírt jelenség, állítás valódiságában teljesen megbízhatunk. A CF egy szabály feltétel és akció része közötti kapcsolat erősségét számszerűsíti. Mivel egy szabály feltétel részében található klózek paraméterértékekre hivatkoznak, a szabály teljesülése esetén az akcióhoz rendelt CF-et módosítják a klózek CF értékei. Például, ha a feltétel részben megadott tünetek csak nagyon kis biztonsággal állapíthatók meg, akkor ez a tény csökkenti a felállított diagnózis megbízhatóságát. Egy (akció vagy feltétel) klóz igaz akkor, ha $CF > 0.2$, és nem igaz akkor, ha $CF < -0.2$. Ha $-0.2 \leq CF \leq 0.2$, a klóz kiértékelése bizonytalan.

A MYCIN következtetési mechanizmusa (inference engine) a definiált szabályoknak visszacsatolós módon történő alkalmazásán alapul. A szabályok kiértékelése teljeskörűen, mélységben először egy ÉS/VAGY famentén történik. Ez azt jelenti, hogy egy klinikai paraméter megállapításakor először a rendszer megkeresi az összes olyan szabályt, mely-

nek akció része tartalmazza az adott paramétert (visszacsatolás), majd az összes ilyen szabály feltétel részét kiértékeli. A klózik kiértékelése során a klózikban megfogalmazott cél általános formáját alkalmazza, vagyis megpróbálja megállapítani a klózikban található paraméter értékét (ha még nincs meghatározva). A klózik kiértékelésekor további szabályok aktivizálódhatnak. A klózik kiértékelése addig folyik, amíg az eredeti szabály kiértékeléséhez szükséges összes paraméter értékét meg nem állapította a rendszer (teljeskörűség). A paraméterek kiértékelése során a MYCIN először ellenőrzi, hogy az adott paraméternek van-e már értéke. Ha még nincs, megpróbálja a meglévő adatok alapján meghatározni (ez alól csak az ún. laboratóriumi adatok kivételek). Ha a paraméter értékének megállapításához a rendszer nem rendelkezik elegendő információval, az adatot az orvosnak kell megadnia. Ha az orvos nem bizonyos a válaszában, akkor a bizonytalanságának mértékét egy -10 és +10 közé eső számmal jelezheti, amit a MYCIN közvetlenül CF értékke konvertál. Összegezve a MYCIN következtetési mechanizmusát elmondható, hogy a konzultációt egyrészt a context fa, másrészt a szabályok kiértékelése során felbukkanó hiányzó adatok irányítják.

A MYCIN továbbfejlesztésének tekinthető NEOMYCIN [16] kétszintűvé tette a konzultációs rendszert vezérlő szabályállományt. Elsődleges vezérlési funkciója van a szakismeretektől független, általános straté-

giai metaszabályoknak. Ilyen stratégiai szabály lehet például az, hogy az információkat az általánosabb kérdésektől a specifikusabbak felé haladva kell összegyűjteni. Stratégiai szabályok a MYCIN-ban is találhatóak, de csak implicit formában, a szakismereteket leíró szabályokba ágyazva. A metaszabályok előrehaladó kiértékelésük (forward reasoning) során a stratégiának megfelelő feladatokat és részfeladatokat jelölnek ki, amelyek egyrészt további metaszabályokat, másrészt "hagyományos", szakterület-specifikus szabályokat tartalmaznak. Ez utóbbiak már a korábban ismertetett visszacsatolós módon értékelődnek ki. A szabályok fogalmi szintjének szétválasztásával a rendszer magyarázó funkciója is strukturáltabbá vált. Ez azt jelenti, hogy absztrakt szinten a WHY és a HOW az általános stratégiai célokra és lépésekre vonatkoznak, miközben a konkrét patológiai esethez kapcsolódó következtetési mechanizmus is nyomon követhető.

4. Eklektikus tudásábrázolás egy fejlődésneurológiai szakértő

rendszerben

Hazánkban is folynak orvosi szakértő rendszerek kifejlesztésére irányuló kutatások. Ezekben a projekteken általában vezető számítástechnikai intézeteink (SZTAKI, SZÁMALK, SZKI), valamint az adott orvosi szakterület legképzettebb (jelenleg kardiológus, gasztroenterológus, neonatológus, neurológus) szakemberei vesznek részt. Ebben a fejezetben a tudásábrázolás mélységét és orvosi alkalmazhatóságát tekintve legfejlettebb hazai konzultációs rendszert ismertetem, különös tekintettel a tudásbázis sajátos logikai architektúrájára.

A Szabadság-hegyi Gyermekgyógyintézet Fejlődésneurológiai és Neurohabilitációs Osztálya - Dr. Katona Ferenc főorvos vezetésével - és az MTA SZTAKI Intelligens Rendszerek Csoportja - Dr. Vámos Tibor akadémikus irányításával - közös kutatást indított csecsemőkori idegrendszeri sérülések korai felismerését célzó szakértő rendszer kifejlesztésére. Az együttműködés eredményeként létrejött fejlődésneurológiai szakértő rendszer (NES: Neurodevelopmental Expert System) a napi klinikai munka és a kutatás támogatása mellett az adott orvosi szakterület ismereteinek hatékony és operatív tárolásával oktatási-tanulási

célokat is szolgál. A rendszer főbb sajátosságai a szemantikusan szervezett párbeszédés adatbeviteli lehetőség, a mintafelismerés és a logikai következtetés együttes alkalmazása, a diagnózisminták terében használt metrika megválasztásának néhány új szempontja, az időben változó folyamatok kezelése, valamint a tudásbázis felhasználói módosításának lehetősége.

Ez a fejezet hat alfejezetre tagolódik. Az első alfejezet az orvosi szakterület problémáit tárgyalja részletesebben. A második alfejezet a tudásmérnöki munka során felhalmozódott tapasztalatokat foglalja össze. A következő két rész a rendszer felépítését, majd a tudásbázis szerkezetét írja le. Az ötödik alfejezet a diagnóziskészítés eszközével, a mintaillesztéssel foglalkozik. Az utolsó rész összegzi a tapasztalatokat és a következtetéseket.

4.1. A szakterület problémái

Számos statisztika szerint az újszülöttek 2,5-4 ezreléke szenved valamilyen mértékben a születés előtti és alatti agysérülés következményeitől. Ezeket az agysérüléseket többek között olyan rizikófaktorok okozhatják, mint például az anyai vérzés, fertőzések, szülésvezetés, alkoholizmus, kábítószeres stb. Szakértői rendszerünk újszerű lehető-

séget biztosít a rizikófaktorok és a veleszületett idegrendszeri sérülések közötti okozati összefüggések feltárására és igazolására. Az ilyen típusú sérülések jelentős része csak akkor kezelhető sikeresen, ha a betegséget idejében, az idegrendszer fejlődésének korai szakaszában felismerik. A gyermek életének ebben az első 3-10 hónapjában a figyelmi magatartás, az érzékszervi és mozgási funkciók aktivizálásával lényeges javulás érhető el. Idősebb korban a hiányzó funkciók már nem alakíthatók ki.

A NES fejlesztésében részt vevő orvoscsoport Katona Ferenc [18-25] vezetésével széles körű, átfogó módszertant alakított ki az idegrendszeri károsodást szenvedett gyermekek betegségének korai felismerésére és gyógykezelésére. Ez a komplex módszer egyrészt fejlődésneurológiai kutatások, másrészt a felhalmozódott klinikai tapasztalatok eredményeként jött létre. A Neurohabilitációs Osztályon az elmúlt tíz évben mintegy 1600 gyermeket kezeltek ezzel a módszerrel. A három hónapos kor elérése előtt felvett betegek 46 %-ánál a kezelés eredményesnek bizonyult, 23 % állapotában nem mutatkozott lényeges változás, 31 % pedig 18 hónapos kora után is folytatódó kezelésre szorult. A meggyőző statisztikákkal alátámaszthatóan sikeres módszer egészét vagy egyes elemeit több külföldi (osztrák, spanyol, USA stb.) egészségügyi intézmény is átvette és alkalmazza.

A fejlődésneurológia az idegrendszer fejlődésének számos egymásra ható paraméterét vizsgálja az agy érése közben. Ilyenek a tudat, a figyelem, az értelem, a hallás- és látásmagatartás, a mozgás és a táplálkozási magatartás funkciói. Ma már számos objektív vizsgálati lehetőség nyílik a funkciók mérésére is. Még távolról sem ismert részleteiben az, hogy a funkciók hogyan hatnak egymásra normális vagy kóros körülmények között. A sérült agy másképpen fejleszti ki a felsorolt működéseket, mint az ép. A fejlődésneurológia egyik fő célja annak kimutatása, hogy milyen funkciók determinálják leginkább az idegműködés érését a különböző korai életszakaszokban. Ennek a sokféle, változó és egymásra ható paraméternek módszeres, tervezett vizsgálatában nagy segítséget nyújthat a fejlődésneurológiával foglalkozó orvos és pszichológus számára a számítógépes szakértő rendszer.

Ebből a rövid ismertetésből is látható, hogy a probléma a hagyományos tudás-következtetés alapú orvosi diagnóziskészítésnél lényegesen bonyolultabb:

- a tudásbázis neuromorfológiai, idegrendszer-fejlesztési, neuropatológiai racionális következtetéseket, az összetett egymásra hatásokra és a fejlődésmintákra vonatkozó hipotéziseket és végül az orvosi

gyakorlat fontos, de mindeddig teoretikusan fel nem tárt módszerét, az intuiciót foglalja magába.

- Az idegrendszer gyors természetes fejlődésének, az idegrendszeri károsodás következményeinek és a megkezdett kezelés hatásának együttes jelentkezése folytán a vizsgált folyamat rendkívül dinamikus és sztochasztikus. A bizonytalanságot növeli az is, hogy a tünetek nagyon összetettek és szabálytalanul jelentkeznek, erősíthetik és gyengíthetik egymást, olyan mellékhatások jöhetnek létre, amelyek gyakran elsődleges szimptomáknak tűnnek stb.

A gondolkodás bonyolultságában, kifinomultságában, a bizonytalansági tényezőkben rejlő kihívás és a probléma emberi oldalának fontossága miatt választottuk az adott területet kutatásunk témájául. A szakértői rendszernek három általános célt kell szolgálnia:

- támogatni kell az orvosi kutatást, segíteni kell az orvoscsoportot az új összefüggések feltárásában, a hipotézisek megerősítésében, módosításában vagy elvetésében valamint új vizsgálati és kezelési módszerek kialakításában;
- a vizsgálati eljárás vezetésével, további vizsgálatokra és a diagnózisra vonatkozó javaslatokkal segítse a fejlődésneurológiával foglalkozó orvos és pszichológus napi munkáját;

- támogassa a gyermekneurológusok, neonatológusok, fejlődépszichológusok és gyermekgyógyászok oktatását, képzését.

4.2. Tudásmérnöki tapasztalatok [26-29]

A tudásmérnöki munka (knowledge engineering) az a rendszertervezési és -szervezési tevékenység, amely során a szakértő rendszer készítésében részt vevő számítástechnikai szakemberek a szakterület szakembereivel együttműködve meghatározzák, hogy:

- az elkészítendő rendszer milyen célokat szolgáljon;
- a célok elérése érdekében milyen tudáselemeket alkalmazzon;
- a tudáselemek milyen struktúrába, hierarchiába szerveződjenek;
- a célok, tudáselemek és a bemenő adatok miképpen vezéreljék a rendszert;
- az alapvető célokon túl milyen szolgáltatásai legyenek a szakértő rendszernek.

A tudásmérnöki munka legkritikusabb meghatározó tevékenységei egyrészt a szaktudás megszerzése (knowledge acquisition), vagyis a szakterület taxonómiájának megértése és leképezése, másrészt a metatudás kialakí-

tása, vagyis a szakterület gondolkodási, következtetési eljárásainak megismerése, rendszerbe foglalása.

Miután a NES első verziója csaknem elkészült, megállapítható, hogy a két csoport együttműködése során a legtöbb közös szellemi erőfeszítést és kölcsönös megértést, türelmet a tudásmérnöki tevékenység, vagyis az orvosi szakértelemnek a számítógép számára kezelhető szabályalapú, mintaarchitektúrájú, metrikusan kódolt formára történő leképezése jelentette. Bár az orvosi kutatócsoport tagjai nagy felkészültségű, nemcsak a biológiában, hanem más kapcsolódó tudományágakban (fizika, filozófia stb.) is jártas, széles látókörű szakemberek, a két rendkívül eltérő gondolkodásmód megfeleltetése hosszadalmas, olykor gyötrelmes folyamatnak bizonyult. Tapasztalataink szerint a tudásmérnöki munka fázisait a következő módon lehet összefoglalni:

4.2.1. Ismerkedés. Ennek a fázisnak a fő feladata a kölcsönös empátia kialakítása, a partner gondolkodásmódjának megismerése és elfogadása. Ez alapvető követelmény, mivel a szakterületek eltérő jellegzetességei folytán a fogalmak és következtetési módszerek nagymértékben különbözhetnek egymástól. Az ismerkedés kézenfekvő és hatékony eszköze a partner publikációinak tanulmányozása, sőt még a kézikönyvek és az olvasott folyóiratok is sokat elárulnak a másik fél szakmai nézeteiről. A

további munkát jelentősen segíthetik a két kutatócsoport tagjai között kialakuló nem hivatalos emberi kapcsolatok, barátságok is.

4.2.2. A munka kezdete. Mindenekelőtt pontosan meg kell határozni az együttműködés céljait, személyi, pénzügyi és szakmai hátterét. Rögzíteni kell azt is, hogy milyen beruházásokra lesz szükség. Tisztázandó a szerzői jogok, a közös publikációk, a szabadalmak és az esetleges bevételek kérdése. Ki kell alakítani az együttműködés formáit (megbeszélések, látogatások, hosszabb munka a partner munkahelyén, dokumentumok stb.), és össze kell állítani egy átfogó munkaprogramot.

4.2.3. Rendszerelemzés. Ennek a munkának legfontosabb fázisa a közös metanyelv kialakítása [30]. Ez azt jelenti, hogy egyértelműen definiálni kell az együttműködés során használt fogalmakat. A kialakuló szókincsnek szemantikával, a kapcsolódások és függőségek leírásával kell kiegészülnie. A rendszerelemzés során fel kell tárni a vizsgált szakterület nem teljesen tisztázott, bizonytalan fogalmait. Meg kell határozni a következtetés és okfejtés természetét, az intuíció, a tapasztalat, valamint a statisztika szerepét és tartalmát. Vizsgálni kell az adatok objektivitásának, a kívülről kapott és a belső adatok kezelésének problémáit is.

Az előbbieken felsorolt fogalmak értelmezésében és megítélésében nemcsak egy orvos és egy számítástechnikai szakember, hanem két, az adott szakterületen egyaránt kiváló, de eltérően gondolkodó orvos véleménye is jelentősen különbözhet egymástól. A rendszerelemzés a vizsgált terület szakembere számára izgalmas és ösztönző folyamat, amennyiben lehetőséget nyújt saját gondolkodási mechanizmusának feltárására. Tapasztalataink szerint a teljes munka során ez a tágan értelmezett rendszerelemzés követeli (és fogyasztja!) a legtöbb időt, szellemi erőfeszítést, tapasztalatot, figyelmet és türelmet. A különböző programozási segédeszközök, expert system shell-ek érdemben nem segítik a rendszerelemzési tevékenységet, amely esetünkben mintegy kétéves munkát jelentett.

A fogalmak tisztázásán túl rengeteget foglalkoztunk a "fuzzy" paramétereknek tekinthető rangsoroló minősítésekkel. Az olyan kijelentések, mint "fontos" vagy "kevésbé fontos, de figyelemre méltó tünet" stb. az orvoscsoport szóhasználatának árnyalt és sajátos elemei. Ezeket a kijelentéseket úgy kell beilleszteni a közös metanyelvbe, hogy a rendszer későbbi felhasználói is elfogadják és hasonlóan értelmezzék őket.

Első megközelítésre könnyűnek tűnik az orvosi diagnóziskészítés logikáját hagyományos HA...AKKOR...KÜLÖNBEN logikai formulákkal leírni. Ez az egyik oka annak, hogy miért olyan vonzó az orvosi terület a szakér-

tői rendszerek fejlesztésével foglalkozók számára. Ugyanakkor, ha egy kicsit alaposabban megvizsgáljuk a felszínen egzakt módon logikus orvosi gondolkodást, szembetaláljuk magunkat a bizonytalan logika problémájával, amely a fogalmak bizonytalanságánál is bonyolultabb és ismeretlenebb terület. A kérdéseinkre adott válaszok általában olyanok, mint "igen", "nem", "nem mindig, csak triviális esetekben" stb. Azonban óvatosnak kell lenni, mivel előfordulhat, hogy egyazon kérdésre adott egyazon, egyértelműnek látszó válasz különböző esetekben ellentétes eredményre vezet. Az ilyenfajta ellentmondásosság nem az orvosi gondolkodást degradálja, hanem a világ bonyolultságát és a "tisztá" logika szegényességét bizonyítja. Véleményünk szerint ezen a ponton válnak el a többé-kevésbé összetett, de hagyományos programok és a gondolkodó ember szellemi tevékenységét támogató ténylegesen intelligens rendszerek.

Ebben a helyzetben egyazon megoldás lehetősége két irányból is adódott. Az orvosok úgynevezett Gestalt-okban, tünetegyüttesekben, szindrómákban gondolkoznak. Ez megfelel a mesterséges intelligencia kutatók egyik területén, a gépi képfeldolgozásban alkalmazott mintafelismerésnek. A fogalmi analógia adta az ötletet, hogy a lazán kapcsolódó, de egymással kölcsönhatásban álló információkat diagnózismintákba csoportosítsuk.

4.2.4. Ember-gép kapcsolat. Tapasztalataink szerint a felhasználó szakember és a számítógép közötti információcsere megtervezése - bár szigorú értelemben nem tartozik bele - szorosan kapcsolódik a tudásmérnöki munkához. Ez nyilvánvaló, hiszen az orvos munkájának követelményei szerint kell meghatározni azt, hogy egyidőben mennyi és milyen információ jelenjen meg a képernyőn és hogy - a vizsgálat logikájának megfelelően - milyen képernyőtartalmak kövessék egymást. Fontos követelmény, hogy a rendszer kezelése egyszerű, következetes és könnyen megtanulható legyen, hiszen az orvos számára a számítógép kezelése olyan terhet jelent, amit csak akkor vállal, ha az nem vonja el túlzottan az érdemi munkától. A rendszertervezés során felmerült az az igény is, hogy ne csak lekérdezni lehessen az orvosi tudást hordozó információkat, hanem - a rendszer belső konzisztenciájának ellenőrzése és megtartása mellett - módosítani, bővíteni is lehessen azokat úgy, hogy bármikor vissza lehessen térni egy korábbi, vagy akár a kiinduló állapothoz is.

4.3. A NES szerkezete

A NES tervezésekor alapvető szempont volt, hogy a kész rendszer egy orvosi intézet számára elérhető áron beszerezhető számítógépes konfi-

gurációt igényeljen. Ennek a kívánalomnak megfelelően a szakértői rendszer 620 Kbyte központi memóriájú, legalább egy beépített lemezegységgel rendelkező IBM AT kompatibilis személyi számítógépen működtethető, 3.0 (vagy annál újabb) verziójú MS-DOS operációs rendszer alatt.

A szakértő rendszer magja az adatfelviteli és diagnóziskészítő program. Ez a program közvetlenül kapcsolódik az adatbázishoz, amely a beteg gyerekek adatait tartalmazza. Az adatfelviteli és diagnóziskészítő program és az adatbázis kapcsolódása kétirányú. A diagnóziskészítő modul az adatbázisból nyeri a lehetséges betegségekre utaló információkat, vizsgálati eredményeket, míg az adatfelviteli modul segítségével egyrészt módosítható, bővíthető az adatbázis, másrészt lehetőség nyílik az adatbázisban tárolt elemi információk lekérdezésére.

Az adatbázis jelenleg mintegy 500 gyermek adatait tartalmazza. Ez az adattömeg kb. 5 Mbyte háttértároló kapacitást igényel. Az adatokat a NES mágneslemezekon tárolja orvosonkénti bontásban, de természetesen lehet a rendszert úgy is installálni, hogy az adatbázis a beépített mágneslemezen legyen.

Mivel az adatbázis dBASE III. struktúrájú file-okból áll, a tárolt információkhoz bármely olyan szoftverrel (pl. statisztikai programcsomagok, egyedi dBASE III. programok, dBASE III. interpreter stb.) hozzá lehet férni, amely képes ilyen szerkezetű adatállományok feldolgozására. A dBASE III. struktúra meglehetősen tág hozzáférési lehetőséget biztosít, hiszen a statisztikák szerint az IBM PC, XT, AT kompatibilis professzionális személyi számítógépek kategóriájában a dBASE III. a legelterjedtebb adatbáziskezelő rendszer. A dBASE III. "szabvány" jellegét mi sem bizonyítja jobban, mint hogy az igényes, versenyképes statisztikai és egyéb programcsomagok, valamint mesterséges intelligencia alapszoftverek kapcsolódást biztosítanak hozzá.

Bármely számítógépes rendszer fejlesztése során alapvető kérdésként vetődik fel, hogy - figyelembe véve a kiválasztott hardver konfiguráció lehetőségeit és az elkészítendő rendszer funkcióit - az egyes modulok programozására milyen programnyelveket érdemes leginkább alkalmazni. Az adatfelviteli és diagnóziskészítő modul programozására a C nyelvet választottuk. A választásban döntő érv volt, hogy az adatfelvitelnek és a diagnóziskészítésnek nagyon gyorsan kell működnie és ezért minimálisra kell csökkenteni a lapozások számát, vagyis egyszerre minél több szükséges információt kell az operatív memóriában tárolni.

Az adatfelviteli és diagnóziskészítő program intelligenciájának forrása a tudásbázis. A NES tudásbázisa olyan adatbázis, amely különböző tudáselemtípusokba rendezve tárolja mindazokat az ismereteket (tételes tudást, vizsgálati, következtetési módszereket stb.), amelyeket a NES fejlesztésében közreműködő orvoscsoporth tanulmányai, tudományos kutatásai és mindennapos praxisa, gyakorlati tapasztalatai alapján felhalmozott.

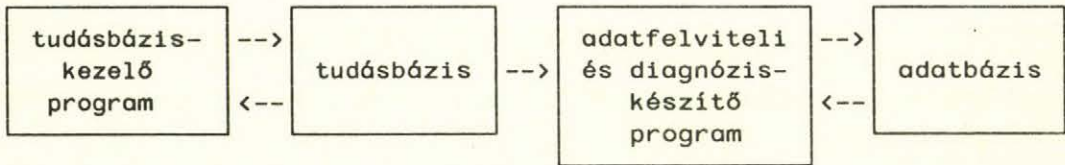
A tudásbázis feladata az, hogy vezérelje az adatfelviteli és diagnóziskészítő programot éppen úgy, ahogy az orvost is szaktudása irányítja abban, hogy milyen vizsgálatokat végezzen el, a vizsgálatok eredményei alapján milyen további vizsgálatokkal támassza alá kialakult vagy körvonalazódó diagnózist, a vizsgálatok befejeztével milyen diagnózist állítson fel és hogy mindezek után milyen beavatkozással, terápiával kezdje meg a beteg gyógyítását.

Az adatfelviteli és diagnóziskészítő program csak információkat kaphat a tudásbázisból, de nem módosíthatja azt, A NES tudásbázist egy önálló karbantartó program segítségével lehet módosítani.

Ezen a ponton tegyünk egy kis "filozófiai" kitérőt. Tapasztalataim szerint (főleg hazai szakmai berkekben) nem teljesen tisztázott, hogy egy program által használt adatbázis mikor, milyen kritériumok alapján "léptethető elő" tudásbázissá. Nézetem szerint egy adatbázisról önmagában nem lehet eldönteni, hogy tudásbázis-e vagy sem. Ha az adatbázis egy programon belül aktív, alapvetően vezérlő funkciókat lát el, akkor tudásbázisról beszélhetünk. Ha esetleg ugyanaz az adatbázis egy másik programon belül alapvetően passzív (vagyis rajta manipulál a program), akkor hagyományos adatbázisról van szó. Például a NES esetében az orvosi tudást tartalmazó adatbázis az adatfelviteli program számára tudásbázis, a tudáselemeket karbantartó program számára pedig hagyományos adatbázis. Összegezve nem az adatok tartalma vagy szerkezete, szervezési módja, hanem a funkció dönti el azt, hogy egy adatbázis tudást reprezentál-e vagy sem.

Az orvosi tudás kompakt gépi ábrázolására a bonyolult listaszervezetek és a kereszthivatkozások miatt a PROLOG nyelvet találtuk a legalkalmasabbnak. Ebből adódóan a NES tudásbázisa PROLOG adatbázis, és a tudásbáziskezelő programot is PROLOG nyelven írtuk meg. A tudásbázis tárigénye jelenleg mintegy 1.2 Mbyte.

A NES felépítését mutatja be a 3. ábra.



3. ábra

4.4. A NES tudásbázisa

Mint az előző alfejezetben utaltam rá, a NES tudásbázisa olyan bonyolult struktúrájú, komplex adatbázis, amely a szakértő rendszer működéséhez szükséges orvosi ismereteket (az orvosi tudás entitásait) kategorizálva, tudáselemtípusokba sorolva tárolja. A tudáselemtípusok olyan üres struktúrák, amelyeket azonos funkciójú konkrét tudáselemekkel töltünk fel. Az egy tudáselemtípusba tartozó elemek logikai struktúrája megegyezik, vagyis minden tudáselemtípust egyetlen meta-nyelvi formula (PROLOG predikátum) azonosít.

A NES tudásbázis entitásai a következő típusokba sorolhatók:

- szekciók
- rész-szekciók

- vizsgálatok
- bejárású utak
- minták
- teljesítmény-struktúrák
- szabályok.

A tudáselemeket a NES PROLOG klóz formájában ábrázolja, vagyis egy tudáselemet az őt tartalmazó tudáselemtípus és a tudáselemtípust jellemző argumentumok aktuális értékei együttesen határozzák meg. Az argumentumok között mindig van néhány azonosító (ezekkel lehet hivatkozni az entitásokra), míg a többi az adott tudáselem tartalmát írja le.

A vizsgálat fogalmát most és a továbbiakban kiterjesztem minden, az adatbevitel során feltehető kérdésre. Ilyen értelemben vizsgálatnak számítanak a személyi adatokra, a követendő terápiára és a diagnózisra vonatkozó kérdések is.

Az egyes tudáselemtípusok tartalmát, funkcióját a következő alfejezetek tárgyalják. Minden alfejezet végén PROLOG klóz formában megadom az adott tudáselemtípus metanyelvi formuláját. A metanyelvi formulák általános alakja:

$\langle \text{típusazonosító} \rangle (\text{arg}_1, \text{arg}_2, \dots, \text{arg}_n)$,

ahol arg_i az adott formula i -dik argumentuma. Az argumentumok lehetnek elemi argumentumok, klózek vagy listák. Az 1 típusú listaelemekből álló lista jelölése: *1 .

4.4.1. Szekciók

A szekciók a vizsgálatok csoportosításának legnagyobb logikai egységei. A NES tudásbázisában tárolt mintegy hétszáz vizsgálatot az orvos-csoport a következő nyolc szekcióba sorolta:

1. ANAMNAESTICUS ADATOK
2. A KOPONYA ÉS AZ AGY VIZSGÁLATA
3. A GERINC ÉS A GERINCVELŐ VIZSGÁLATA
4. V., VII., IX., X., XII. AGYIDEG ÉS A TÁPLÁLKOZÁSI MAGATARTÁS
VIZSGÁLATA
5. A LÁTÁS ÉS A LÁTÁSMAGATARTÁS VIZSGÁLATA
6. A HALLÁS ÉS A HALLÁSMAGATARTÁS VIZSGÁLATA
7. A SENSOMOTOROS MŰKÖDÉS VIZSGÁLATA
8. MAGATARTÁS ÉS AZ ÉRTELMI FEJLŐDÉS VIZSGÁLATA.

Az 1. szekció tartalmazza a kórelőzménynek számító, vagyis a betegre vonatkozó összes, kívülről kapott, nem a kezelő orvos által regisztrált információt, valamint a személyi adatokat. A 2.-7. szekciók ideg-pályánkénti bontásban tartalmazzák a lehetséges vizsgálatokat, míg a 8. szekció a pszichológiai megfigyeléseket gyűjti egybe.

A szekciók metanyelvi formulája:

section (secid,sectitle)

secid: a szekció azonosítója

sectitle: a szekció címe.

4.4.2. Rész-szekciók

Az egyes szekciókon belül lehetőség nyílik a vizsgálatok további logikai csoportosítására. Az így kialakuló vizsgálatcsoportokat nevezzük rész-szekcióknak. A szükség esetén egymásba is ágyazható rész-szekciók segítségével létrejövő többszintű struktúra nyilvánvalóan önmagában is orvosi ismereteket hordoz, s ezáltal növeli a szekciókban tárolt tudás szintjét.

A rész-szekciók csoportosító ismérvei sokfélék lehetnek. Egy csoportba kerülhetnek egy adott testrészhez tartozó vizsgálatok, egy összetettebb orvosi eljáráshoz kapcsolódó mérések, megfigyelések stb.

Nézzünk egy példát a vizsgálatok rész-szekcióba sorolására:

AKTIVÁLT ELEMI MOZGÁSMINTÁK

NYAK ÉS GERINCIZMOK

- 37. Ülés a levegőben (Katona)
- 38. Felhúzódzkodási reakció 90 fokig
- 39. Felegyenesedés ülésbetolás kapcsán (Katona)
- 40. Törzshomorítás pronált helyzetből (Katona)
- 41. Törzshomorítás pronált helyzetben csipőörögzítéssel (Katona)
- 42. Landau reakció.

A rész-szekciók metanyelvi formulája:

sub-section (secid,subsecid,subsectitle,*examid)

secid: a szekció azonosítója

subsecid: a rész-szekció azonosítója
subsectitle: a rész-szekció címe
examid: a rész-szekcióban szereplő vizsgálat vagy
rész-szekció azonosítója.

4.4.3. Vizsgálatok

A vizsgálatleírások a NES tudásbázis elemi struktúrái, míg a belőlük felépülő rész-szekciók és szekciók aggregátumoknak tekinthetők. A vizsgálatokat az őket tartalmazó szekciókon belül egyedi sorszám azonosítja.

Egy vizsgálat leírásához mindenekelőtt szükség van a vizsgálat megnevezésére. Például:

20. Chromosoma rendellenességek

4.4.3.1 Kódok

A NES tudásbázisában tárolt vizsgálatok nagy része kvalitatív típusú. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálat eredménye csak verbálisan határozható meg. A kezelhetőség és a szabványosítás érdekében az orvoscsoport min-

den kvalitatív vizsgálatra meghatározta az összes, egymástól szignifikánsan eltérő, lehetséges verbális ítéletet. Az egyes kvalitatív vizsgálatokhoz tartozó lehetséges kimeneteleket egyértelműen leképeztük egy $S = \{0, 1, 2, \dots, 9\}$ diszkrét skála megfelelő részhalmazára. Erre több okból is szükség volt. Egyrészt az adatokat így tömören lehet tárolni, másrészt a kódolt forma révén más tudáselemek (pl. diagnózis-minták, szabályok stb.) könnyebben tudnak hivatkozni a vizsgálati eredményekre. A kódrendszer további előnye, hogy a csökkenő hibalehetőség mellett az adatfelvitel is lényegesen felgyorsul, ha az orvosnak egy - esetleg több soros - meghatározás begépelése helyett a lehetséges ítéletek előregyártott készletéből csak a kiválasztott ítélet kódját kell megadnia.

A verbális ítéletek leképezése kétféleképpen történhet. Ha a vizsgálat lehetséges kimenetelei súlyossági szempontból megkülönböztethetők és rangsorolhatók (patológiás sor), akkor a kódok kiosztását a nullával kezdjük úgy, hogy a nulla jelenti a fiziológiás, egészséges kimenetelt, míg a kódok növekedése a tünet súlyosságának növekedését tükrözi. Ha a lehetséges kimenetelek nem rendezhetők patológiás sorba, a leképezés az egyes kóddal kezdődik. A kódok kiosztása mindkét leképezési formánál folyamatos.

Az előzőekben leírtak után természetes, hogy egy kvalitatív vizsgálat leírásának tartalmaznia kell a lehetséges verbális ítéleteket és a hozzájuk rendelt kódokat is.

Nézzünk egy-egy példát egy olyan kvalitatív vizsgálatra, amelynek ki-menetelei patológiás sorba rendezhetők, és egy olyanra, ahol ez nem tehető meg:

Csecsemőkori alvásszabályozás

- 0 - fiziologiás (nyugodt, egyenletesen alszik)
- 1 - sokat mozog
- 2 - ritkán felsír
- 3 - gyakran felsír
- 4 - ritkán felébred, de könnyen visszaalszik
- 5 - felébred, nehezen alszik el
- 6 - gyakran felébred, könnyen elalszik
- 7 - gyakran felébred, nehezen alszik el.

Elalvás

- 1 - könnyen elalszik
- 2 - nehezen alszik el, egyéni szokások
- 3 - állandó szülői részvétellel
- 4 - ritmikus mozgással alszik el
- 5 - rendkívül nehezen alszik el.

A NES-ben vannak olyan kérdések is, amelyekre több mezőből álló rekordtípusú válasz adható. Ekkor bizonyos mezők azonosító funkciót látnak el, míg a többi az azonosítóhoz tartozó értéket hordozza. Ilyen esetben az egyes mezőkhöz önálló kódkészletet definiálhatunk.

A NES tudásbázis tartalmaz néhány olyan - többnyire kvantitatív - vizsgálatot (pl. születési súly, a kutacs mérete stb.) is, amelyek eredménye nem kódolt formában kerül az adatbázisba. Ebben az esetben is szükség lehet valamilyen, az adatfelvitelt segítő kitöltési instrukcióra, amit szintén a vizsgálatleírásban tárolunk. Például:

Gestatio kor hetekben

4.4.3.2. Attribútumok

A vizsgálatleírásokban rögzíteni kell néhány olyan információt is, amelyeket az adatfelviteli és diagnóziskészítő program használ ellenőrzésre és vezérlésre. Ezeket az információkat összefoglalva attribútumoknak nevezzük. Az attribútumoknak négy csoportja van:

- típus
- kitöltési kötelezettség flag
- video flag
- multiplikációs flag.

A típus megadja, hogy az adatfelviteli rendszer milyen karaktersorozatot fogadhat el a vizsgálati eredmény rögzítésekor (pl. numerikus, dátum, alfanumerikus stb.). Külön attribútum flag jelzi, hogy az adott vizsgálathoz tartozó eredményt kötelező-e rögzíteni az adatfelvitel során, vagy sem. A video flag arra utal, hogy az adott vizsgálathoz rendelkezésre áll-e a számítógéphez kapcsolható és az adatfelvitel során kérhető, szemléltető videofelvétel.

A multiplikációs flag teszi lehetővé (vagy tiltja meg), hogy a felviteli rendszer egyazon kérdést egymásután többször feltegyen. Erre például az agy morfológiai vizsgálatokor lehet szükség, amikor is ugyanazt

a mérést az összes agylebenyre végre lehet hajtani. Ebben az esetben az adatfelvitel során megadott karaktersorozat első három mezője azonosítja a vizsgált agylebenyt, míg a negyedik és ötödik mező a számszerű mérési eredményt tartalmazza. Az ismétlési lehetőség biztosítja, hogy az orvos az összes vizsgált agylebeny adatait bevihesse az adatbázisba.

4.4.3.3. Korfüggőség

A NES tudásbázisában jónéhány olyan kvalitatív, kódolt vizsgálat van, amely a beteg gyermek motoros vagy pszichés teljesítményét kíséri figyelemmel. Ilyen teljesítmények például a fejemelés, felállás, járás, személyek felismerése, beszéd stb. Ezekre a teljesítményekre többek között az is jellemző, hogy viszonylag nagy biztonsággal meghatározható, hogy a gyermek milyen korára milyen szinten kell megjelenniük.

Az orvoscsoport a teljesítményes vizsgálatok kimeneteleihez olyan számpárosokat rendelt, amelyek azt mutatják, hogy az adott szintű teljesítmény elmaradása hány hónapos kortól tekinthető kórosnak beteg, illetve egyébként egészségesen fejlődő gyermek esetén. A korfüggőséget megadó számpárokat is a vizsgálatleírás tartalmazza.

A vizsgálatleírások metanyelvi formulája:

exam-descript (secid, examid, examtitle, *field)

secid: a szekció azonosítója
examid: a vizsgálat azonosítója
examtitle: a vizsgálat megnevezése
field: mezőleírás.

A mezőleírás metanyelvi formulája:

*code

code: kódleírás

A kódleírás metanyelvi formulája:

code (codeid, codetext, agedep)

codeid: a numerikus kód
codetext: a kód szöveges értelmezése
agedep: korfüggőségi számpáros (lehet üres is).

4.4.4. Bejárású utak

A beteg gyermek vizsgálati eredményeinek gépre vitele - alapértelmezésben - szekciónként történik. Egy szekció az adott témakörhöz tartozó összes lehetséges vizsgálat leírását tartalmazza, azonban az esetek többségében nincs szükség vagy lehetőség a szekcióban található valamennyi vizsgálat tényleges elvégzésére. Például, ha egy adott kérdésre két vagy több különböző műszerrel elvégzett mérés is választ adhat (pl. CT és ultrahang vizsgálat), akkor az adott kérdést megválaszoló összes műszeres vizsgálat megtalálható lesz a szekcióban, de ténylegesen csak az egyiket érdemes aktivizálni, mondjuk annak függvényében, hogy melyik műszer áll az orvos rendelkezésére. A vizsgálatok közötti válogatás másik indoka lehet az is, hogy bizonyos vizsgálatoknak csak egy meghatározott életkor alatt van értelme, más vizsgálatok pedig csak akkor végezhetők el, ha a gyermek már elért egy fejlődési szintet (pl. tud beszélni). Lehetőséget kell biztosítani arra is, hogy valaki speciális szakterületének megfelelő vizsgálatokból testre szabott vizsgálatkészletet válasszon ki magának.

Az előzők alapján nyilvánvaló, hogy szelektív kapcsolatot kell biztosítani a szekciók és az adatfelviteli rendszer között. Ezt a szelektív kapcsolódást a szekciókhoz rendelt bejárési utak teszik lehetővé. A bejárési utak révén lehet meghatározni azt, hogy az adatfelviteli rendszer milyen rész-szekciókat, vizsgálatokat aktivizáljon és hogy milyen sorrendben kérje be az adatokat. Egy szekcióhoz több bejárési utat is lehet definiálni. Azt, hogy az adatfelviteli rendszer ilyen esetben melyik bejárési utat válassza, egy vagy több előzőleg kiértékelt szabály határozza meg. (A szabályokat a 4.4.7. fejezet tárgyalja részletesen.) A bejárési utak közötti választást vezérelheti például a következő szabály:

Ha a gyermek tud utasításokra reagálni, akkor a második, különben az első bejárési út vezérelje a 7. szekció adatainak felvitelét!

Összehasonlítva a szekciók, rész-szekciók és a bejárési utak szerepét, megállapíthatjuk, hogy amíg az előzők a lehetséges vizsgálatok terének statikus szerkezetét írják le, addig az utóbbiak révén - dinamikus struktúrák meghatározásával - ésszerű vizsgálatssorozatok összeállító-sára nyílik lehetőség.

A bejárési utak metanyelvi formulója:

paths (secid,*path)

secid: a szekció azonosítója

path: bejárási út leírás.

A bejárási út leírás metanyelvi formulája:

*examid

examid: a bejárási útban szereplő vizsgálat, vagy
rész-szekció azonosítója.

4.4.5. Minták

A minták alkalmazása a mesterséges intelligencia kutatások egy másik területén, az automatizált ipari rendszerek témakörén belül az alakfelismerési feladatok megoldásának hagyományos módszerének tekinthető. Kutatásaink fókuszában éppen az áll, hogy ezt a technikát miként lehet alkalmazni egy olyan összetett, bizonytalansági tényezőket hordozó, a szigorú logikánál hatékonyabb következtetési módszereket alkalmazó, intuitív jellegű tudás számítógépes reprezentálására, amelyre alapozva

az orvos hatékonyan és megfelelő biztonsággal képes egy beteget kivizsgálni és diagnosztizálni.

Az orvosi diagnózis sine qua non-ja a betegség megállapítása, valamint - ha értelmezhető - a súlyosság mértékének meghatározása. Az ily módon szűken értelmezett diagnózist a számítógép a NES tudásbázisában tárolt minták alapján képes elkészíteni.

Egy minta az adott betegséghez (szindrómához) tartozó tünetegyüttest (szimptómákat), a betegséget valószínűsítő kórelőzményeket, valamint a betegség gyógyításához javasolt gyógyszeres és egyéb kezeléseket, terápiákat tartalmazza. A diagnóziskészítés lényege az, hogy a NES kiválasztja a betegségeket tipikus formájukban leíró minták közül azokat, amelyek egy megadott metrika szerint legközelebb állnak a beteg vizsgálati eredmény halmazához. (A diagnóziskészítés technikájával, a mintaillesztéssel a 4.5.fejezet foglalkozik.) A fejlődés-neurológiai szakértő rendszer jelenleg 33 minta alapján készíti a diagnózist.

4.4.5.1. A minták szerkezete

Egy minta minden sora egy-egy tünettel, kórelőzménnyel vagy terápiás javaslattal kapcsolatos kijelentést reprezentál. Minden kijelentés

HA...AKKOR...KÜLÖNBEN típusú feltétel. A feltétel tartalmazza annak a vizsgálatnak az azonosítóját, amelyről állítunk valamit, egy relációt és egy értékkészletet vagy azonosítót, amire a reláció vonatkozik. A feltételek a bennük szereplő relációk alapján a következők lehetnek:

- a vizsgálat kódolt eredménye megegyezik a felsorolt kódértékek egyikével;
- a vizsgálat kódolt eredménye nem egyezik meg a felsorolt kódértékek egyikével sem;
- a vizsgálat számszerű eredménye csökken vagy kisebb egy megadott értéknél;
- a vizsgálat számszerű eredménye változatlan vagy egyenlő egy megadott értékkel;
- a vizsgálat számszerű eredménye növekszik vagy nagyobb egy megadott értéknél;
- a vizsgálat számszerű eredménye két megadott érték közé esik;
- két különböző vizsgálat számszerű eredményének különbsége csökken;
- két különböző vizsgálat számszerű eredményének különbsége változatlan;
- két különböző vizsgálat számszerű eredményének különbsége növekszik.

A feltételeket osztályozhatjuk abból a szempontból is, hogy milyen szerepet játszanak egyfelől a diagnózis és a terápia megállapításában, másfelől a betegség súlyosságának meghatározásában.

Ha a diagnózis és a terápia meghatározását tekintjük, a feltételeket a következő típusokba sorolhatjuk:

1. a mintaillesztésben résztvevő feltételek
2. kórelőzmények
3. kísérő tünetek
4. terápiás beavatkozások, tréningek.

Az első kategóriába tartozó feltételek részt vesznek a mintaillesztésben. Az itt szereplő feltételeket az jellemzi, hogy ha a beteg vizsgálati eredményére igaz a feltételben megfogalmazott állítás, akkor javul az illeszkedés, ellenkező esetben a betegséget leíró "ideál" minta és a beteg vizsgálati eredmény halmaza távolodik egy-mástól. A mintaillesztésben részt vevő feltételeket a betegség meghatározásában játszott szerepük szerint kétféleképpen súlyozzuk. Egyrészt meghatározzuk, hogy egy adott feltétel teljesülése esetén mennyire közelíti a beteg adatait a mintához, másrészt ha a feltétel nem teljesül, mennyire rontja az illeszkedést. A közelítő és távolító súlyozásnak egyaránt

ötelemű értékkészlete van. A mintaillesztésben részt vevő feltételeknek a közelítő, illetve a távolító súlyok szerinti csoportosítása:

- szükséges 'A' feltételek
- szükséges 'B' feltételek
- nagyon valószínű feltételek
- valószínű feltételek
- lehetséges feltételek.

Általában a hiányzó adat (vagyis, ha az orvos nem végezte el a feltételben megadott vizsgálatot) se nem távolít, se nem közelít. Ennek a szabálynak csupán néhány szükséges feltétel nem tesz eleget. A szükséges 'A' feltételek kategóriájában az adat hiánya távolít, vagyis rontja az illeszkedést.

A feltételek NES-ben alkalmazott súlyozása a PIP scoring slot-jához hasonló, bár a PIP egy adott megnyilvánulás és a betegség kapcsolatának erősségét egyetlen súlyértékkel fejezi ki (nem alkalmaz kettős súlyozást).

A 2-4. típusba tartozó feltételek nem befolyásolják a minta illeszkedésének mértékét, azaz zéró súllyal vesznek részt a betegség megállá-

pításában. A kórelőzmény önmagában nem erősíthet vagy gyengíthet egy vizsgálatokon alapuló diagnózist, viszont ötleteket adhat az orvosnak, hogy milyen irányban induljon el, milyen betegsége gyanakodjon. Ennek megfelelően a szakértő rendszerben a kórelőzményeket leíró feltételeknek adatbevitelt vezérlő funkciója van. A kísérő tünetek nem szükségszerű, meghatározó velejárói a minta által reprezentált betegségnek, de a beteg állapotának teljes leírásánál fontos információ az, hogy produkálja-e ezeket a tüneteket vagy sem. A terápiás beavatkozások, tréningek csomagjába tartozó javaslatok, bár logikailag egyértelműen kapcsolódnak az egyes betegségeleírásokhoz, értelemszerűen nem a diagnóziskészítést, hanem a gyógykezelést szolgálják.

A betegség súlyosságát tekintve a mintában definiált feltételek a következő kategóriákba sorolhatók:

- súlyos
- közepesen súlyos
- enyhe
- a súlyosság meghatározása szempontjából irreleváns.

Természetesen egy adott mintában lehetnek olyan feltételek, amelyek csak a betegség megállapításában vesznek részt, a súlyosság meghatáro-

zásában nem, ugyanakkor más feltételek mind a két kérdés megválaszolásában szerepet játszhatnak.

Egy minta tartalmazhat olyan feltételeket is, amelyek egymással helyettesíthető vizsgálatokra hivatkoznak. Az ilyen feltételek egymással diszjunktív kapcsolatban állnak, és egy feltételcsoportot alkotnak. A feltételcsoporton belül bármely feltétel teljesülése az egész feltételcsoport teljesülését vonja maga után. Ugyanazon feltételcsoporton belül további feltételek teljesülése nem erősítheti a diagnózist, hiszen egy tünet súlya az adott betegség meghatározása szempontjából nem növekedhet azáltal, hogy többféle módszerrel regisztrálták. Hasonló megfontolás alapján, ha a feltételcsoporton belül egyik feltétel sem teljesül, a diagnózis értékelése szempontjából az egész feltételcsoportot egyetlen egységnek kell tekinteni. Ez is természetes, hiszen egy tünet hiánya nem cáfolhatja erősebben egy diagnózis helyességét csupán azáltal, hogy többféleképpen is kimutatható. Fogalmi szinten az elemi feltételek egyelemű feltételcsoportoknak tekinthetők. Egy minta - egy- vagy több elemű - feltételcsoportjai között konjunktív logikai kapcsolat van.

A minták metanyelvi formulája:

pattern (patid,pattitle,*condition)

patid: a minta azonosítója

pattitle: a minta megnevezése

condition: feltételleírás.

A feltételleírás metanyelvi formulája:

cond (type,score1,score2,grade,secid,examid,rel,value)

type: a feltétel típusa

score1: közelítő súly

score2: távolító súly

grade: súlyosságkategória

secid: a szekció azonosítója

examid: a vizsgálat azonosítója

rel: reláció

value: a reláció jobboldala (érték, értékkészlet vagy
üres).

4.4.6. Teljesítmény-struktúrák

A fejlődésneurológiával foglalkozó orvosok számára a betegség vagy betegségek megállapításán túl fontos információ az is, hogy a beteg gyermek szellemi és testi teljesítménye, éppen fejlődési rendellenességei folytán, hány hónappal marad el attól a szinttől, amely a hasonló korú egészséges gyermekeket jellemzi. Ennek a lemaradásnak a meghatározása teszi teljessé az előző fejezetben említett "szűkebb" diagnózist.

Az orvosok meghatározták, hogy egy beteg gyermek elmaradásait milyen, önálló nevekké azonosítható komplexumok, teljesítmény-struktúrák révén lehet leírni, továbbá azt is, hogy ezekbe a komplexumokba milyen teljesítményekhez kapcsolódó vizsgálati eredmények tartoznak. A teljesítmény-struktúrákban tárolt, kódolt vizsgálati eredmények mindegyikéhez tartozik korfüggőségi érték (lásd 4.4.3.3. pont), amelyek alapján kiszámíthatók az elemi lemaradások. Az elemi lemaradások átlagolásával megállapítható a komplex teljesítményekben mutatkozó lemaradás mértéke. Jelenleg a NES tudásbázisa a következő teljesítmény-struktúrákat tartalmazza:

- mozgásfejlődés

- figyelem
- kommunikáció
- szocializáció
- vizuomotorium.

Az első teljesítmény-struktúra motoros, míg a többi mentális teljesítményeket ír le.

A teljesítmény-struktúrák metanyelvi formulája:

achievement (achid, achtitle, *(secid, examid, codeid))

achid: a teljesítmény-struktúra azonosítója
achtitle: a teljesítmény-struktúra megnevezése
secid: a szekció azonosítója
examid: a vizsgálat azonosítója
codeid: a kód azonosítója.

4.4.7. Szabályok

A fejlődésneurológiai szakértő rendszeren belül - bár a reprezentált orvosi tudás döntően nem logikai alapú - fontos szerepet kapnak a mes-

terséges intelligencia kutatások és alkalmazások területén széleskörűen felhasznált HA...AKKOR...KÜLÖNBEN típusú szabályok. A NES-ben alkalmazott szabályok általános feladata az adatfelviteli és diagnosztikus rendszer közvetlen vezérlése. A szabályok láncolhatók, vagyis egy szabály kiértékelésekor kapott eredmény függvényében további szabályok értékelődhetnek ki. Az egymáshoz kapcsolódó szabályokat a NES szabálygyűjteményekben tárolja. Bizonyos entitások tudáselemeihez testre szabott szabálygyűjtemény kapcsolódik. Ennek alapján a szabálygyűjteményeket a következőképpen csoportosíthatjuk:

- általános NES szabálygyűjtemény
- szekciókhoz kapcsolódó szabálygyűjtemények
- mintákhoz kapcsolódó szabálygyűjtemények.

Az első szabálygyűjtemény tartalmazza mindazokat a szabályokat, amelyek a szekciók, illetve minták közötti vezérlésátadást irányítják. A másik két kategóriába tartozó szabálygyűjtemények a hozzájuk tartozó tudáselemmel együtt aktivizálódnak az adatfelvitel vagy a diagnosztikus készítés során. A szabálygyűjtemények összesen mintegy 400 szabályt foglalnak magukba.

A szabályokat egy nagyon szűk, speciálisan erre a célra kifejlesztett kvázi-programnyelven lehet definiálni, amelyet egy szabályfeldolgozó fordítóprogram értelmez a NES számára. Tehát a szabályokat nem PROLOG klóz formában, hanem szabályállományokban tárolja a NES. Ennek megfelelően a szabályoknak (a " HA feltétel AKKOR akció " általános formulán túl) nincs metanyelvi leírásuk.

4.5. Mintaillesztés

A mintaillesztés feladata a 4.4.5. pontban definiált szűken értelmezett diagnózis felállítása. A betegség meghatározásának lényege, hogy a szakértő rendszer megpróbálja a beteg gyermek vizsgálati eredményeit illeszteni az előre meghatározott "ideál" mintákra (ld. 4.4.5. pont). A tökéletes illeszkedés valószínűsége gyakorlatilag nulla, hiszen valószínűtlen, hogy egy beteg egy adott betegséghez tartozó összes tünetet "maximális intenzitással" produkálja, nem beszélve arról, hogy egy betegnek több, egymás tüneteit elfedő, torzító betegsége is lehet. Ugyanakkor egy elég nagy mértékű illeszkedés már diagnózis értékű lehet.

A mintaillesztés kétlépcsős folyamat. Első lépésben a rendszer megfelelteti a beteg adatait és a vizsgált minta feltételeit. A megfele-

tetés során azt kell eldönteni, hogy a minta feltételei közül melyeknek tesz eleget és melyeket nem elégít ki a beteg vizsgálati adatai. Ezután következhet a távolságszámítás, az illeszkedés mértékének meghatározása.

Célszerű volt külön metrikát kialakítani az illeszkedés és a nem-illeszkedés mértékének meghatározására, hiszen nemcsak az hordoz információt, hogy mi és milyen mértékben szól az adott diagnózis mellett, hanem az is, hogy milyen tényezők és milyen mértékben teszik kérdésessé annak helyességét. A kétfajta metrikát úgy lehetett kialakítani, hogy a mintának az illesztésben résztvevő feltételeihez két - nem feltétlenül eltérő - súlyt rendeltünk (ld. 4.5.1. pont), attól függően, hogy egyrészt teljesülés esetén mennyire relevánsak a betegség megállapításában (közelítő relevancia), másrészt, hogy ha nem teljesülnek, akkor az mennyire rontja az illeszkedést (távolító relevancia). Az illeszkedés és a nem-illeszkedés mértékét két normált viszonyszám mutatja. Az illeszkedés mértékét (IM) úgy kapjuk meg, hogy a teljesült feltételekhez rendelt közelítő relevanciasúlyok összegét normáljuk a minta összes kiértékelhető feltételéhez tartozó közelítő relevanciasúly összegével. Hasonlóképpen a nem-illeszkedés mértékét (NM) a nem teljesült feltételekhez rendelt távolító relevanciasúlyok összegének és a mintában szereplő összes kiértékelhető feltételhez tartozó távolító

relevanciasúly összegének hányadosa adja. Nyilvánvaló, hogy tökéletes illeszkedés esetén $IM = 1$ és $NM = 0$, míg tökéletes nem-illeszkedés esetén a $NM = 1$ és $IM = 0$. Egyébként $0 < IM < 1$ és $0 < NM < 1$. Mind az illeszkedés, mind a nem-illeszkedés mértékére meghatározhatunk - mintánként - egy-egy kritikus értéket. Az adott mintáról akkor mondhatjuk, hogy illeszkedik a beteg adataira, ha az illeszkedés mértéke meghaladja saját kritikus értékét és ugyanakkor a nem-illeszkedés mértéke saját kritikus értéke alatt marad. Hasonlóan csak akkor vethetjük el határozottan egy betegség lehetőségét, ha az illeszkedés mértéke nem éri el kritikus szintjét és ugyanakkor a nem-illeszkedés mértéke meghaladja a nem-illeszkedéshez rendelt kritikus értéket. Egyéb esetekben a betegséggel kapcsolatban nem lehet határozottan állást foglalni.

A NES-ben alkalmazott IM és NM mutató a MYCIN elméletben definiált MB és MD értékekkel rokonítható. Egyéb eltérésektől eltekintve alapvető különbség, hogy a NES a diagnóziskészítés során aktívan használja mind az IM, mind a NM mutatót, míg a MYCIN csak az aggregátumnak tekinthető $CF = MB - MD$ értékekkel számol. A MYCIN bizonyossági tényezőjével (CF) szemben az IM és NM mutatók kizárólag tünetcsoportokra vonatkozó számított értékek. Kutatásaink fókuszában éppen az IM és NM mutatók legalkalmasabb kiszámítása, a mintákban definiált feltételek, a hozzájuk rendelt közelítő és távolító súlyok, valamint az illeszkedés küszöbér-

tékeinek meghatározása (a minták "hangolása") áll. Ebben a munkában egyrészt a teljes beteganyagon végzett statisztikai elemzés, másrészt a már meglévő "humán" diagnózisok és a gépi eredmények egybevetése nyújthat segítséget.

A mintaillesztés működését az általános szabályokon túl az egyes mintákhoz (szindrómákhoz) rendelt, testre szabott szabályok finomítják.

Mivel egy beteg csecsemő vagy gyermek állapotát morfológiás, érzékszervi, mozgási és pszichés problémái együttesen határozzák meg, a mintákat az általuk ábrázolt betegségek típusa alapján négy osztályba csoportosítottuk. A mintaillesztésnek a négy osztály mindegyikében "versenyeztetni" kell a mintákat. A betegségek osztályokba sorolása (az INTERNIST-hez hasonlóan) a szakterület-specifikus heurisztika sajátos leképezését jelenti.

A betegség súlyosságának megállapítására - ha egyáltalán lehetséges - a mintaillesztés, vagyis a betegség meghatározása után, külön eljárással kerülhet sor. Jelenleg csak a motoros és a pszichés mintaosztályokba tartozó minták tartalmazzak a betegség súlyosságára utaló felteteleket, tehát a betegség súlyosságának megállapítására csak az ide tartozó tünetegyüttesek diagnosztizálása esetén van lehetőség.

A szűken értelmezett diagnózis tartalmazza a beteg adataihoz a négy mintaosztályban legjobban illeszkedő minták által reprezentált betegségek megnevezéseit, az illeszkedés és nem-illeszkedés mértékét, továbbá, ha meghatározható, a betegség súlyosságát is.

A mintaillesztés funkciója szerint kétféle lehet. Ha a beteg adatai már rendelkezésre állnak, a mintaillesztés feladata a diagnózis elkészítése (retrograd vagy statikus diagnóziskészítés), ugyanakkor a mintaillesztés elindítható az új vizsgálati eredmények gépre vitelekor is (anterograd vagy dinamikus diagnóziskészítés).

A dinamikus diagnóziskészítés lényege az, hogy a NES az aktivizált bejárású út (ld. 4.4.4. pont) által vezérelt adatfelvitel során a már bevitt adatok alapján hipotéziseket állít fel a lehetséges betegségekre vonatkozóan (a betegség gyanúja, intuíció). Ez a gyakorlatban úgy történik, hogy a rendszer minden új adat bevitelekor megvizsgálja, hogy a meglévő adatok alapján mely diagnózisminták illeszkednek a legjobban. (Ennél az előremutató illesztésnél kapnak szerepet a kórelőzmény típusú feltételek.) Felhasználói kérésre megjeleníthető a legvalószínűbb betegségek listája. Ha az orvos meg akar bizonyosodni egy hipotézis helyességéről, kívánságára a rendszer a kiválasztott mintá-

ban szereplő, de még hiányzó adatokat fogja bekérni. Ekkor tehát a felviteli rendszer bejárasi út vezérlésről mintavezérlésre tér át. A dinamikus diagnóziskészítés hipotetikus jellegét mutatja az is, hogy ha a minta hiányzó adatainak kitöltése folytán romlik az illeszkedés - vagyis kérdésessé válik a hipotézis helyessége -, a NES jelzi ezt, és vissza lehet térni a bejárasi út által vezérelt adatfelvitelre (a hipotézis elvetése).

Könnnyen belátható, hogy a rendelkezésre álló adatok számának növekedésével a hipotézisek is egyre megalapozottabbak lesznek. Az adatfelvitel végén pedig - amikor már nincs hiányzó adat - a dinamikus illesztés statikussá válik, ugyanakkor a hipotézisek is stabilizálódnak, vagyis létrejön a diagnózis.

4.6. Tapasztalatok és következtetések

A NES nagy része már működik, az adatfelviteli rendszert már három éve használják az orvosok napi munkájuk során. A rendszerszervezés az orvosi kutatócsoport számára rendkívül hasznos volt, hiszen a tudás rendszerezése és formalizálása során új összefüggésekre, szakmai problémákra is fény derült. A diagnózisminták összeállítása és a tünetek

fontosságának megállapítása munkájuknak különösen izgalmas és ösztönző időszaka volt.

A rendszer fejlesztésének végső szakaszához érkeztünk, s így hamarosan termék formában kívánjuk terjeszteni. A szakértői rendszer fejlesztése természetesen nem áll meg az első verzió kibocsátásával. Terveink között szerepel az ábrázolt orvosi tudás finomítása, mélyítése további szakértői megfontolások figyelembevételével. Kialakulóban vannak a hangbemenetel alkalmazásának feltételei. Az emberi hang felhasználása egy számítógépes rendszer vezérlésére egyrészt izgalmas, új alkalmazási lehetőségeket ígérő kutatási terület, másrészt közvetlenül segítheti az orvos munkáját, aki felszabadulva a számítógép manuális kezelésének terhe alól, a vizsgálat elvégzésével egyidőben ("on-line") regisztrálhatja az eredményeket.

A további verziók elkészítéséhez szükségünk lesz a fejlesztésben részt nem vevő, a rendszert kritikusan szemlélő felhasználók visszajelzéseire is. Ugyanakkor a NES nemzetközi megítélése, az együttműködő intézmények véleményei azt igazolják, hogy egy ilyen szakértői rendszer sok - egyébként rettenetes - élet rehabilitációjának egyik fő eszközévé válhat. Számunkra egyrészt a munka egyértelmű, kézzelfogható hasznos-

sága és a sürgető igény, másrészt a probléma összetettsége, nem determinisztikus volta jelentett kihívást.

Bebizonyosodott, hogy a mintaillesztés és a logika együttes alkalmazása a következtetési módszerek magasabb szintű, hatékonyabb leképezését eredményezi, s így tágabb lehetőséget biztosít az ember és a gép intelligens együttműködése számára.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a NES projektben részt vevő munkatársaimnak, Vámos Tibor akadémikusnak és Muzsik Gyulának, valamint a Dr. Katona Ferenc vezette orvoscsoportnak, akik kutatási eredményeikkel megalapozták, tanácsaikkal, javaslataikkal pedig segítették munkámat. Köszönettel tartozom még Hetényi Péternének és Visontay Györgynek, akik disszertációm formai megjelenítésében segítettek.

Irodalom:

- 1/ Ledley, R., Lusted, L.: Reasoning foundations of medical diagnosis. Science 130: 9-21, 1958.
- 2/ Barr, A., Feigenbaum, E.A. (eds.): The Handbook of Artificial Intelligence, Vol. II. 177-222
- 3/ Bhatnagar, R.K., Kanal, L.N.: Handling uncertain information: a review of numeric and non-numeric methods. In: Uncertainty in Artificial Intelligence (ed. Kanal, L.N. and Lemmer, J.F.), Elsevier Science Publishers B.V., 1986
- 4/ Chandrasekaran, B., Tanner, M.C.: Uncertainty handling in expert systems: uniform vs. task-specific formalism. In: Uncertainty in Artificial Intelligence (ed. Kanal, L.N. and Lemmer, J.F.), Elsevier Science Publishers B.V., 1986
- 5/ Szolovits, P., Pauker, S.G.: Categorical and probabilistic reasoning in medical diagnosis. Artificial Intelligence, Vol. 11, pp. 115-144, 1978

- 6/ Weiss, S.M., Kulikowski, C.A., Amarel, S., Safir, A.: A model-based method for computer-aided medical decision-making. Artificial Intelligence, Vol. 11, pp. 145-172, 1978
- 7/ Miller, R.A., Pople, Jr., H.E., Myers, J.D.: INTERNIST-I., an experimental computer-based diagnostic consultant for general internal medicine. New England Journal of Medicine, Vol. 307, no. 8, pp. 468-476, August, 1982.
- 8/ Pople, Jr., H.E.: Knowledge-based expert systems: the buy or build decision. In: W. Reitman (ed.) Artificial Intelligence Applications for Business, Norwood, N.J.: Ablex, 1984
- 9/ Pauker, S.G., Gorry, G.A., Kassirer, J.P., Schwartz, W.B.: Towards the simulation of clinical cognition: taking a present illness by computer. American Journal of Medicine, Vol. 60, pp. 981-996, June 1976.
- 10/ Langlotz, C.P., Shortliffe, E.H.: Adapting a consultation system to critique user plans. International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 19, pp. 479-496, 1983.

- 11/ Clancey, W.J.: An antibiotic therapy selector which provides for explanations. In: Proceedings of Fifth International Conference on AI, p. 858, 1977.
- 12/ Miller, P.L.: Medical plan-analysis: the ATTENDING system. In: Proceedings IJCAI-83, pp. 239-241, 1983.
- 13/ Shortliffe, E.H.: Computer-based medical consultations: MYCIN. New York: Elsevier, 1976.
- 14/ Van Melle, W.: A domain-independent production rule system for consultation programs. In: Proceedings of the 6th Int. Joint Conference of AI, Tokyo, Japan, 1979, pp. 923-925
- 15/ Cendrowska, J., Bramer, M.: Inside an expert system: a rational reconstruction of the MYCIN consultation system. In: O'Shea, T., Eisenstadt, M. (eds.) Artificial Intelligence, Tools, Techniques, and Applications
- 16/ Hasling, D.W., Clancey, W.J., Rennels, G.: Strategic explanations for a diagnostic consultation system. In: Coombs, M.J. (ed.) Development in expert systems, pp. 117-133, London: Academic Press.

- 17/ Vámos, T., +Fekete, M., Éltető, L., Muzsik, Gy., Katona, F., Berényi, M., Szabados, P.: Pattern recognition combined with logic - a decade's experiment with an unusual medical expert system. Working Paper, MTA SZTAKI, E/39, 1987
- 18/ Katona, F., Berényi, M.: Differential reactions and habituation to acoustical and visual stimuli in neonates. *Activ. Nerv. Sup.*, 16: 305, 1974
- 19/ Katona, F.: Neue Method in der Saeuglingsneurologie und Rehabilitation. *Acta Paed. Acad. Sci. Hung.* 15: 67-75, 1974
- 20/ Katona, F., Berényi, M.: Intravesical transurethral electrotherapy in meningomyelocele patients. *Acta Paed. Acad. Sci. Hung.* 16: 363-374, 1975
- 21/ Katona, F., Paraicz, E.: Pre- and postoperative problems in myelodysplasia. In: *Progress in Pediatric Surgery* (eds.: Rickham, P.R., Hecker, W.Ch., Prévot, J. Urban and Schwarzenberg), München-Berlin-Wien, 8: 119-134, 1975

- 22/ Szabados, P., Katona, F., Berényi, M., Balázs, M., Izsák, K.: Early treatment of subdural effusion with elevated ICP. In: Infancy and Childhood (ed.: Paraicz, E.), Monographs in Pediatrics (eds.: Faulkner, J., Kretchmer, W., Rossi, I. P., Karge, S.), Basel-München-Paris-London-New York-Sydney, 15: 122-123, 1982
- 23/ Wollemann, M., Katona, F., Paraicz, E., Rona, E.: Proteinfraktionen und Isoensymaktivität in subduralen Ergüssen im Säuglingsalter. Neuropediatric, Hippokrates Verlag, Stuttgart, 4: 139-144, 1973
- 24/ Katona, F.: Sensorimotor development in Papuan infants. Growth and Development, Physique Symp. Biol. Hung., 20. 1977
- 25/ Katona, F.: Developmental Neurology. In: Perinatal Medicine (eds.: Kerpel-Fronius, E., Véghelyi, P. V., Rosta, I.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 109-134, 1978
- 26/ Vámos, T.: Neue Erfahrungen mit Expertsystemen. ZfR, 84.04
- 27/ Vámos, T., Katona, F., Berényi, M., Fekete, M., Éltető, L.: Knowledge engineering as a human interface problem - lessons of building an expert system in neonatology. IFAC/IFIP/IFORS/IEA Conf. on Analysis

Design and Evaluation of Man-Machine Systems, Varese/Italy (eds.: G.Johannsen et al.) September 10-12, 1985, pp. 136- -140

28/ Vámos,T., Éltető,L., +Fekete,M., Muzsik,Gy., Katona,F., Berényi, M., Szabados,P.: Expert system in perinatology: applied for research, practice and training. Intl. Conf. on Computer-Aided Medical Decision-Making, Prague/CSSR, October 1985

29/ Vámos,T., Éltető,L., +Fekete,M., Muzsik,Gy., Katona,F., Berényi, M., Szabados,P.: Pattern recognition and logic, combined in an expert system for developmental neurology. 30th Intl. Scientific Colloquium, Technische Hochschule Ilmenau, Ilmenau/GDR, October 1985, pp. 347-350

30/ Vámos,T.: Metalanguages - conceptual models. Bridge between machine and human intelligence. Symp. on AI and Expert Systems, West Berlin, May 1987

A TANULMÁNYOK SOROZATBAN 1988-BAN MEGJELENTEK

- 203/1988 KNVVT EG-25 Problems and tools of the integration of information systems. Proceedings 1987.
Edited by: Rumjana Kirkova, Tibor Remzső, Ferenc Urbánszki
- 204/1988 Csetverikov Dimitrij: Digitális texturavizsgálat néhány új módszere
- 205/1988 Hernádi Ágnes: Új eszközök a fogalmi modellezésben
- 206/1988 The second Hungarian workshop on image analysis
Edited by: Dimitrij Csetverikov, Géza Álló
- 207/1988 Suzanne Márkus - Gábor Márkus: Logic Puzzless and Logic Programming I
/Logikai fejtörők - logikai programozás I/
- 208/1988 Proceedings of the 5th International Meeting of Young Computer Scientists /IMYCS'85/
Edited by: E. Csuha-Varju, J. Demetrovics, J. Kelemen
- 209/1988 Галия Младенова Ангелова: Синтаксические и семантические структуры реляционных языков запросов
- 210/1988 Publications'1987 - Publikációk'1987
Edited by/Szerkesztette: Petrőczy Judit
- 211/1988 Eszenszki József - Kas Iván - Palotási András Podmaniczky András - Szücs Miklós - Vörös Károly Zsolt Frigyes - Alexander Mihajlovics Klocskov Valerij Alexandrovics Plahov:
Tanulmány a számítógépes, raszteres mikrofilm lap készítés elvi és gyakorlati kérdéseiről
- 212/1988 Густав Хенчей: Модели ассоциативных образов
- 213/1988 Ремжэ Тибор: Исследование и разработка интегрированных систем обработки информации
/На примере системы страхования/
- 214/1988 Информационная система исследователя по экспертным системам и знаний /РГ - 26, KNVVT/
Стогний А.А., Брона И.И., Пасичник В.В., Проданюк Н.М., Т. Ремжэ, Б. Ухрин, Ф. Урбански
- 215/1877 Somogyi Péter: Bonyolult szakértő rendszerek tudásbázisának logikai modellezése

